



Universidad Politécnica de Cartagena

TRABAJO FIN DE GRADO:

**ASPECTOS TÉCNICOS Y DE DISEÑO PARA LA
SELECCIÓN Y DIMENSIONADO DE LAS
MACHACADORAS DE MANDÍBULAS EN LA
TRITURACIÓN DE ÁRIDOS**

El alumno José Francisco Carpena Ortega

Cartagena a 1 de Septiembre de 2014

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

AGRADECIMIENTOS

Quisiera en este apartado hacer mención de todos aquellos que me han ayudado de una manera u otra y han permitido que obtenga la titulación de Ingeniero Técnico de Minas y de Graduado en Recursos Minerales y Energía.

En primer lugar resaltar la labor de todos los profesores que he tenido durante estos años, especialmente a Pedro Martínez Pagán por su dedicación y buen hacer en su labor y al que le debo la realización de este trabajo fin de grado.

Igualmente a Talleres Guerrero por su desinteresada colaboración, aportando documentación y conocimientos.

Por último, agradecer a mis padres, que me han apoyado durante estos años en mi paso por la universidad y a mis compañeros.

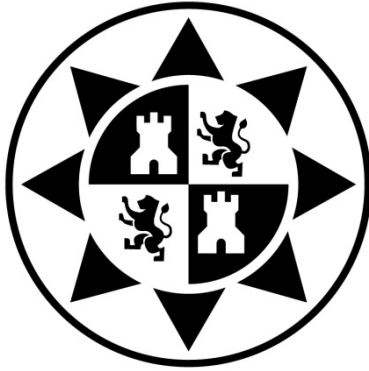
**Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las
Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos**

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

INDICE GENERAL

Memoria 5

Planos “Estudio de caso”-201



Universidad Politécnica de Cartagena

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

ASPECTOS TÉCNICOS Y DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN Y DIMENSIONADO DE LAS MACHACADORAS DE MANDÍBULAS EN LA TRITURACIÓN DE ÁRIDOS

El alumno José Francisco Carpena Ortega

Cartagena a 1 de Septiembre de 2014

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

INDICE DE LA MEMORIA

Contenido

1.1 OBJETO DEL PROYECTO	12
1.2 INTRODUCCIÓN A LA FRAGMENTACIÓN.....	13
1.3 DEFINICIÓN DE ÁRIDO	15
1.4 ARIDOS DE MACHAQUEO.....	17
1.5 IDENTIFICACIÓN DE LOS ARIDOS.....	19
1.5.1 INTRODUCCIÓN	19
1.5.2 IDENTIFICACION BASICA DE UN ARIDO	19
1.5.3 GRANULOMETRIA.....	20
1.5.6 EQUIVALENTE DE ARENA	21
1.5.7 FORMA	21
1.5.8 DESGASTE Y PULIMENTO	22
1.6 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ÁRIDOS	23
1.6.1 TEXTURA.....	23
1.6.2 DUREZA	23
1.6.3 DENSIDAD.....	24
1.6.4 ABSORCIÓN	24
1.6.5 POROSIDAD	25
1.6.6 ABRASIVIDAD	26
1.6.7 RESISTENCIA	27
1.6.8 ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD.....	27
1.7 TRITURACION	29
1.7.1 LEYES DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA.....	30
1.7.2 CURVAS GRANULOMÉTRICAS	30
1.7.3 LEYES ENERGÉTICAS	33
1.7.4 GRANULOMETRÍA DE LOS PRODUCTOS FRAGMENTADOS	36
1.8 ANALISIS MECÁNICO DE LAS ROCAS	40
1.8.1 INTRODUCCIÓN	40
1.8.2 ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA ROCA	42

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

1.8.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN.....	43
1.8.4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE.....	44
1.8.5 RESISTENCIA AL IMPACTO, AL DESGASTE Y A LA FRAGMENTACIÓN	46
1.8.6 CONSUMO DE ENERGÍA: ÍNDICE DE BOND	48
1.8.7 INDICE DE ABRASION	49
1.8.8 TRITURABILIDAD.....	50
1.8.9 SILICATOS Y MINERALES DE SILICE	50
1.8.10 HUMEDAD	51
1.8.11 CUADRO DE ENSAYOS	52
1.9 FRACTURACIÓN EN LAS ROCAS.....	53
1.10 DEFORMACIONES Y ROTURAS.....	58
1.11 DEFORMACIONES SEGÚN LOS DISTINTOS EQUIPOS DE TRITURACIÓN	59
1.11.1 DEFORMACION DE LA ROCA EN LAS MACHACADORAS DE MANDÍBULAS	60
1.12 ABRASIVIDAD	61
2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MACHAQUEO.....	63
2.2 MACHACADORAS DE MANDÍBULAS. DEFINICIÓN.....	66
2.3 TIPOS DE MACHACADORAS DE MANDÍBULAS	67
2.3.1 TIPO DODGE	67
2.3.2 TIPO BLAKE O DE DOBLE EFECTO	68
2.3.3 MACHACADORA DE MANDÍBULAS DE SIMPLE EFECTO	69
2.3.4 MACHACADORA DE MANDÍBULAS DE CÁMARA DE TRABAJO HORIZONTAL.....	71
2.4 PARTES DE UNA MACHACADORA DE MANDÍBULAS.....	73
2.4.1 CARCASA O BASTIDOR.....	73
2.4.2 CAMARA DE TRITURACION	74
2.4.3 REVESTIMIENTOS	75
2.4.4 SISTEMA DE ACCIONAMIENTO.....	79
2.5 COMPARACIÓN ENTRE LAS MACHACADORAS DE MANDÍBULAS DE SIMPLE Y DOBLE EFECTO	81
2.6 MACHACADORAS DE MANDÍBULAS COMO EQUIPO PRIMARIO.....	83
2.7 FACTORES QUE CONDICIONAN LA ELECCION DE UNA MACHACADORA DE MANDIBULAS COMO EQUIPO PRIMARIO	85
2.7.1 ESTUDIO DE CASO PARA UNA EXPLOTACIÓN DE CALIZAS	85

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.7.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	89
2.8 DINAMICA DE TRABAJO.....	91
2.9 ESTUDIO TEORICO	92
2.9.1 COEFICIENTE DE FORMA Y CUBICIDAD	92
2.9.2 COEFICIENTE DE FORMA COMO CONSECUENCIA DE LOS EQUIPOS.....	94
2.9.3 COEFICIENTE DE FORMA COMO CONSECUENCIA DE LA NATURALEZA DE LAS ROCAS .	95
2.9.4 FORMULA BASICA	96
2.9.5 VELOCIDAD DE ATAQUE	98
2.9.6 CALCULO DE LAS MACHACADORAS DE SIMPLE EFECTO	100
2.10 TIPOS DE FUERZAS Y ROTURAS	101
2.11 ALIMENTACION Y EVACUACION.....	103
2.12 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y COSTES OPERATIVOS DE UNA MACHACADORA DE MANDÍBULAS.....	105
2.13 CONSUMO ENERGETICO E INDICE DE BOND	109
2.14 INVERSION INICIAL	111
2.15 AMORTIZACIÓN.....	112
2.15.1 ESTUDIO DEL CASO. AMORTIZACIÓN EN UNA EXPLOTACIÓN DE ÁRIDOS DE MATERIAL MILONÍTICO.....	112
2.16 CONSUMO DE ELEMENTOS ANTIDESGASTE	116
2.17 TIEMPO DE PARADA. MANTENIMIENTO.....	117
2.18 ACEROS Y FUNDICIONES ANTIDESGASTE	119
2.19 DIMENSIONADO DE MACHACADORAS DE MANDIBULAS.....	122
2.19.1 BOCA DE ADMISIÓN Y DIÁMETRO MÁXIMO.....	123
2.19.2 REGLAJE	123
2.19.3 CAPACIDAD.....	124
2.19.4 CURVA GRANULOMÉTRICA	127
2.19.5 CALCULO DE LA POTENCIA	127
2.20 ESTUDIO DE CASO PARA UNA EXPLOTACIÓN DE CALIZAS DE 1400T/H.....	129
3 MANTENIMIENTO.....	134
3.1 INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO	134
3.1.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO	134
3.1.2 CONCEPTO DE FALLO Y AVERÍA.....	136

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

3.1.3 FASES EN LA VIDA DE UNA INSTALACIÓN	136
3.1.4 COEFICIENTE DE DISPONIBILIDAD MECÁNICA	137
3.1.5 COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO.....	137
3.1.6 COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN.....	137
3.1.7 EFICIENCIA DE UNA INSTALACION	138
3.1.8 LA GESTION DEL MANTENIMIENTO	138
3.1.9 LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO	139
3.1.10 PUNTOS A CONSIDERAR EN EL MANTENIMIENTO.....	140
3.1.11 DISTRIBUCIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO ...	141
3.1.12 DIAGRAMA DE ORGANIZACIÓN POR TAREAS DE MANTENIMIENTO.....	141
3.1.13 VENTAJAS DE UNA BUENA CALIDAD DE MANTENIMIENTO	142
3.2 LUBRICACION O ENGRASE.....	143
3.2.1 ROZAMIENTO Y DESGASTE.....	144
3.2.2 PARTES QUE SE LUBRICAN DE UN EQUIPO	145
3.2.3 NORMAS DE APLICACION.....	146
3.2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS LUBRICATNES.....	147
3.2.5 GRASAS.....	148
3.2.6 ESTABILIDAD DE LAS GRASAS AL TRABAJO MECÁNICO	149
3.2.7 NUMEROS NLGI DE LAS GRASAS	150
3.2.8 CARACTERISTICAS DE LAS GRASAS.....	151
3.2.9 EXTREMA PRESION DE UNA GRASA	153
3.2.10 ELEMENTOS DE ENGRASE	154
3.2.10.1 ENGRASE MANUAL.....	154
3.2.10.2 ENGRASE AUTOMATICO.....	155
3.2.10.3 ENGRASADORES, BOQUILLAS DE ENGRASE Y LATIGUILLOS FLEXIBLES	156
3.2.11 GUÍA PARA LA RESOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LUBRICACIÓN CON GRASAS...	157
3.3 RODAMIENTOS.....	159
3.3.1 TIPOS DE RODAMIENTOS	160
3.3.2 RODAMIENTOS DE RODILLOS A ROTULA	161
3.3.3 SOPORTES PARA RODAMIENTOS SN Y SD.....	162
3.3.4 FIJACION RADIAL DEL RODAMIENTO	163
3.3.5 INFORMACION DE LAS MEDIDAS DE UN RODAMIENTO	165

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

3.3.7 LUBRICACION INICIAL A UN RODAMIENTO NUEVO	167
3.3.8 LIMPIEZA DE RODAMIENTOS SUCIOS	168
3.3.9 ALMACENAJE DE LOS RODAMIENTOS.....	169
3.3.10 LA FATIGA DE LOS RODAMIENTOS.....	170
3.3.11 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN RODAMIENTO	171
3.3.12 FUNCIÓN DEL LUBRICANTE EN UN RODAMIENTO.....	172
3.4 POLEAS	174
3.4.1 INTRODUCCION	174
3.4.2 TIPOS DE POLEAS.....	174
3.4.3 POLEAS TRAPECIALES	176
3.5 CORREAS TRAPECIALES	178
3.5.1 CONCEPTOS GENERALES	178
3.5.2 CORREAS TRAPECIALES. CARACTERISTICAS	179
3.5.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CORREAS TRAPECIALES.....	180
3.5.4 NORMALIZACION Y DIMENSIONES DE LAS CORREAS TRAPECIALES	181
3.5.5 TRANSMISION POR CORREAS TRAPECIALES	182
3.5.6 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA TRANSMISION POR CORREAS TRAPECIALES	182
3.5.7 ELECCION DE CORREAS TRAPECIALES	184
3.5.8 CALCULO DE TRANSMISION POR CORREA TRAPECIAL.....	186
3.5.9 LONGITUD DE LAS CORREAS TRAPECIALES	187
3.5.10 PRIMER MONTAJE DE UNA CORREA TRAPECIAL.....	188
3.5.11 ESTADO DE LAS CORREAS	188
3.5.12 DESVIACIONES ADMISIBLES DEL EJE	189
3.5.13 LAS HERRAMIENTAS DE ALINEACION.....	191
3.5.14 PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE LAS CORREAS TRAPECIALES.....	192
3.5.15 AYUDAS AL MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE LAS CORREAS TRAPECIALES	192
3.5.16 ALMACENAMIENTO DE LAS CORREAS	195
3.6 MEDIDA DE LA TEMPERATURA	197
3.7 MOTORES	199
4.0 REFERENCIAS.....	200

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

1.1 OBJETO DEL PROYECTO

El presente trabajo fin de grado (TFG), tiene por objeto una descripción técnica de uno de los equipos más utilizados en trituración primaria como son las machacadoras de mandíbulas, empleadas tanto en canteras de áridos como en explotaciones mineras.

Además de la descripción técnica de estos equipos, se incluyen un conjunto de planos en los cuales se representa uno de estos equipos, más concretamente, una machacadora de mandíbulas de simple efecto.

1.2 INTRODUCCIÓN A LA FRAGMENTACIÓN

La fragmentación de las rocas es un proceso indispensable para la obtención de áridos, esto es debido a que no existe un mineral que tal y como se extrae de la explotación sea adecuado para su uso como producto final o que solo necesite operaciones de separación.

Objetivos de las operaciones de fragmentación:

- Liberar las especies minerales con valor económico.
- Reducir el tamaño del material y asegurarse que no existen grandes bolos para posibilitar el transporte del mismo y un posterior tratamiento.
- Facilitar operaciones puramente físicas (distribución, dosificación, mezcla, aglomeración, etc.).
- Conseguir tamaños que favorezcan las reacciones químicas o físico – químicas. (lixiviación, flotación, etc.).
- Obtener un tamaño de material que se ajuste a las especificaciones de venta de producto.
- Promover la concentración del mineral. (operaciones de clasificación directa).

El dato más significativo en un proceso de trituración es el coeficiente de reducción, que indica el grado de reducción que sufre en mineral bajo la acción de una máquina.

Este coeficiente se expresa normalmente como la relación entre la dimensión de abertura de malla cuadrada que permite el paso del 80% de la alimentación y la dimensión de la malla cuadrada que permite el paso del 80% del producto

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

obtenido por dicha máquina. También se denomina razón de reducción del equipo.

$$\text{Razón de reducción} = \frac{D_{80}}{d_{80}}$$

El porcentaje de finos aumenta a medida que aumenta la razón de reducción de un equipo, por lo que varias trituraciones sucesivas producen menos finos que la trituración en una sola etapa.

La fragmentación o conminución que es el conjunto de etapas de reducción de tamaño de las rocas se puede dividir en trituración; cuando se hace referencia a las primeras etapas de fragmentación y molienda o pulverización; que es como se denomina a las últimas etapas de fragmentación.

El proceso de fragmentación de un material se puede definir también en función del circuito empleado, y puede ser en circuito abierto o circuito cerrado.

Se dice que un proceso de fragmentación es en circuito abierto cuando el material pasa una sola vez por el equipo de fragmentación, mientras que cuando existe un control del tamaño del producto y aquellos fragmentos que no cumplan las exigencias de tamaños son enviados nuevamente al equipo de trituración, se habla de circuito cerrado.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

1.3 DEFINICIÓN DE ÁRIDO

Existen multitud de definiciones para la palabra árido, conocida como aggregate en la literatura internacional, quizás las dos definiciones más completas las dan el Manual de Áridos de Carlos López Jimeno (1) que define árido como “aquellos materiales minerales, solidos inertes, que con las granulometrías adecuadas se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes mediante su mezcla íntima con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cales, cementos, etc.) o con ligantes bituminosos”, siendo la definición de la Asociación Nacional Española de Fabricantes de



Ilustración 1.1 - Diferentes tipos de áridos

Áridos (ANEFA) la más completa y dice así; “se denomina comúnmente árido a una serie de rocas que, tras sufrir un proceso de tratamiento industrial (simple clasificación por tamaños en el caso de los áridos naturales o trituración, molienda y clasificación en el caso de los áridos de machaqueo), se emplean en la industria de la construcción en múltiples aplicaciones, que van desde la elaboración, junto con un material ligante, de hormigones, morteros y aglomerados asfálticos, hasta la construcción de bases, sub-bases para

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

carreteras, balasto y sub-balasto para vías de ferrocarril, o escolleras para la defensa y construcción de puertos marítimos.

El árido ha sido utilizado por el hombre desde tiempos inmemoriales, su uso se dispara con la revolución industrial y con la construcción a mediados del siglo XX muy especialmente en España, pero ya se utilizó para construir las pirámides de Egipto o incluso fue utilizado por el hombre para hacer fuego.

Hoy en día es un material insustituible en la sociedad, como ejemplo, indicar que para la fabricación de un metro cúbico de hormigón son necesarias entre 1.8 y 1.9 toneladas de áridos, para una vivienda unifamiliar entre 100 y 300 toneladas, para un colegio entre 2.000 y 4.000 toneladas, para un kilómetro de vías de ferrocarril unas 10.000 toneladas, para un kilómetro de autopista unas 30.000 toneladas y para la construcción de un estadio de fútbol se requieren unas 300.000 toneladas de áridos. Estos datos son extraídos de la guía “Los Áridos y el cemento. El recorrido de los minerales” de la Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

1.4 ARIDOS DE MACHAQUEO

Los áridos de machaqueo han de ser sometidos a una o varias etapas de reducción, a veces hasta en 5 etapas y entre ellas los áridos son sometidos a diferentes cribados y procesos de lavado.



Ilustración 1.2 – Cantera de áridos con diferentes productos de salida

Estos áridos son arrancados de su yacimiento mediante explosivos o técnicas de ripado, por ello la extracción de áridos de machaqueo en una cantera tiene costes adicionales de perforación y voladura a los que se dan en una gravera.



Ilustración 1.3 – Equipo primario donde se observa la salida de producto triturado y la de finos previamente eliminados

La explotación de áridos se realiza siempre en explotaciones a cielo abierto conocidas como canteras y muy excepcionalmente en explotaciones subterráneas. La técnica utilizada es mediante

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

banqueo descendente debido a la normativa española, las dimensiones de bancos están perfectamente delimitadas por la legislación minera. La extracción subterránea de árido requiere elevados costes de explotación, pero como cada vez las trabas medioambientales de las canteras son mayores, no se puede descartar este método.

En España de las 2.000 canteras para la fabricación de áridos existentes, más de 700 se dedican a la extracción de caliza, alrededor de 100 a la explotación de granito, unas 70 canteras a las areniscas.

1.5 IDENTIFICACIÓN DE LOS ARIDOS

1.5.1 INTRODUCCIÓN

Para la identificación de los áridos se necesita conocer sus características perfectamente, por lo que se recurre a la petrología y la mineralogía, técnicas esenciales de microscopía para, además de identificar la roca correctamente, predecir futuros comportamientos, que en el caso que ocupa serán mecánicos fundamentalmente. Igualmente, es necesario saber como responden estas rocas ante determinados ensayos mecánicos a escala real. Los ensayos mecánicos versarán sobre abrasividad, fragmentación, consumos de energía, etc., esta serie de ensayos se define como Rock Test. Con estos dos factores, petrología y ensayos mecánicos se puede determinar qué máquina se usará, mediante técnicas de trituración para transformar una roca en un árido.

Como conclusión antes de obtener áridos a partir de una roca se debe conocer la roca petrológicamente, y además se debe conocer la respuesta de esta roca ante un determinado número de ensayos mecánicos que ayudarán a elegir la maquinaria de trituración adecuada para conseguir el árido deseado y las condiciones en las que debe de trabajar esta maquinaria.

1.5.2 IDENTIFICACION BASICA DE UN ARIDO

Hay que tener en cuenta una identificación básica de los áridos ante cualquier estudio que se plantee. Esta identificación básica será posterior al análisis petrológico y anterior a los ensayos mecánicos que son específicos para tratar

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

de encontrar la maquinaria de trituración que se ajusta a las necesidades reales.

Con la mineralogía y petrología como base de partida, se describen los siguientes ensayos para identificar técnicamente un árido.

1.5.3 GRANULOMETRIA

La granulometría es el arte de medir los tamaños, formas y proporciones de los granos de una dispersión, la cual es producida por una operación de fragmentación. Para ello se utilizan los tamices adecuados dispuestos correlativamente de mayor a menor abertura de la luz de paso. La representación gráfica de la granulometría se manifiesta habitualmente en una gráfica semilogarítmica con porcentaje del material que pasa por cada tamiz en escala normal y el tamaño de abertura del tamiz en escala logarítmica.

Hay que tener en cuenta que áridos con idéntica granulometría no pueden ser usados para lo mismo: por ejemplo, un árido de granulometría 6-12 mm calizo no se debe utilizar para una capa de rodadura, la cual demanda un árido de esa granulometría pero de otro origen.

Independientemente de los usos finales de dichas granulometrías, su denominación técnica más habitual sería la siguiente:

- Finos: todos los elementos por debajo de 0.063. En rocas de origen silíceo es importante identificarlo para la prevención de la silicosis.
- Arena fina: 0.063-3 mm.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

- Arena gruesa: 3-6 mm. Aunque la norma para hormigones dice que la arena será inferior a 5 mm.
- Gravilla: 6-12, 12-18 y 18-25 mm.
- Grava: 20-40 mm.

Por encima de estos valores tendremos unas granulometrías que dependerán del tipo de explotación. A las fracciones descritas anteriormente hay que sumar las zahorras, una mezcla de las anteriores en unos porcentajes determinados.

1.5.6 EQUIVALENTE DE ARENA

Es un método rápido para determinar las proporciones de finos arcillosos o plásticos en la granulometría de las arenas. En un cilindro graduado se vierte la arena y una disolución floculante. Después de agitar y sedimentar se puede medir el porcentaje de material plástico y de arena, y se expresa este equivalente como la altura de arena dividido por la altura de arcilla multiplicada por cien.

Los áridos de excelente calidad, procedentes de rocas geotécnicamente buenas y con procesos de trituración adecuados, suelen tener problemas con las arenas que contienen pequeños elementos plásticos en las grietas de los frentes de explotación.

1.5.7 FORMA

Las partículas de una granulometría pueden presentar diversas formas que vienen definidas por las tres dimensiones espaciales: longitud, anchura y

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

espesor: Teóricamente, la forma ideal de las partículas de una fracción granulométrica de un árido sería el cubo. La desviación con respecto al cubo cuando se tiene una dimensión menor inferior a 0.6 veces la dimensión media será (en porcentaje en peso) el índice de lajas.

Otra desviación importante son los aciculares, que pueden afectar a la resistencia a la tracción y la flexión de los hormigones, aglomerados asfálticos y capas de forma, así como a la vibración y bombeo del hormigón.

1.5.8 DESGASTE Y PULIMENTO

Al estudiar un árido resulta imprescindible al menos realizarle el ensayo de desgaste de Los Ángeles, un sencillo ensayo que permite conocer el desgaste del árido al actuar sobre él una carga abrasiva. Existen otros tipos de ensayo para conocer el desgaste que se verán más adelante.

El CPA o coeficiente de pulimento acelerado consiste en construir unas probetas con el árido a ensayar, las cuales son sometidas a un proceso de pulimento. Este ensayo, que representa el pulimento que experimentan los áridos bajo condiciones de tráfico real en capas de rodadura, y que no tiene mucha más razón de ser que ésta, es importante conocerlo porque está relacionado con el ángulo de rozamiento interno.

1.6 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS ÁRIDOS

El origen de una roca ya le confiere a un árido y a los materiales elaborados industrialmente con él unas propiedades específicas y un futuro comportamiento, el proceso de fabricación del árido va a influir en otras propiedades. A continuación se analizan las propiedades intrínsecas de los áridos.

1.6.1 TEXTURA

Se obtiene del estudio petrográfico de la roca y viene determinada por la génesis de la roca.

Debe informar de los granos de esta roca, de si están en contacto o envueltos en la matriz, de su tamaño y dará una aproximación a su porosidad y posible meteorización. La textura de una roca se refiere a la estructura de los granos minerales constituyentes de ésta, y se manifiesta a través del tamaño de los granos, de la forma, de la porosidad, etc.

La textura informa de la manera de romper de esa roca, cosa fundamental para la calidad del árido y para la elección de la máquina que se emplee para su fragmentación. La textura superficial afecta al deslizamiento entre granos ya la adhesión de estos granos con ligantes tipo cemento o betún.

1.6.2 DUREZA

La dureza es la resistencia de una roca a sufrir una deformación mecánica determinada. En general es la oposición de una capa superficial a la penetración de otro cuerpo más duro, o también se puede definir como la resistencia de un material a ser marcado por otro. La dureza depende de la

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

composición de los granos minerales, de la porosidad de la roca, del grado de humedad, etc.

En algunos minerales la dureza varía según la dirección en ellos.

Una ventaja de los ensayos de dureza es la capacidad de dar una idea de la resistencia a la tracción, y con ésta se puede estimar la resistencia a la compresión.

La clasificación y los métodos varían con los materiales, dando origen a los números de dureza. Las principales clasificaciones son la HBN (Hardness Brinell Number), HRA, HRB, HRC,... (Hardness Rockwell series A, B, C,...), HVN (Hardness Vickers Number), etc.

Interesa especialmente la dureza Vickers de las rocas o de los minerales que las componen, que pueden dar una idea sobre la Resistencia a la abrasión.

1.6.3 DENSIDAD

Es la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. Se pueden determinar diferentes densidades. Por un lado la densidad relativa aparente que es la relación entre la masa del sólido y la masa de agua de su volumen aparente. En la densidad relativa aparente se incluyen los huecos accesibles al agua. Por otro, la densidad relativa real, que es la relación entre la masa del sólido y la masa de agua de su volumen real. En esta se excluyen los huecos accesibles al agua.

1.6.4 ABSORCIÓN

El volumen de huecos accesibles al agua en una roca con la superficie seca representa la absorción.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Debido a la cantidad de ensayos de absorción mal realizados, y las confusiones que produce este hecho, a continuación se aclaran dichos términos. Pueden darse cuatro situaciones de áridos con respecto a la humedad y sus poros:

- Si un árido tiene todos sus poros llenos de agua y la superficie también, se dice que está húmedo.
- Si un árido tiene todos sus poros llenos de agua y la superficie seca, se dice que está saturado con la superficie seca.
- Si el árido saturado con la superficie seca se introduce en un ambiente seco durante un tiempo, se dice que está seco.
- Si se seca un árido en una estufa durante un tiempo prolongado se elimina toda la humedad y se dice que está totalmente seco.

La absorción de agua se obtiene midiendo la diferencia en peso entre un árido saturado y seca su superficie y este árido después de ser secado durante 24 horas. Esta diferencia se expresa en porcentaje.

El exceso de agua sobre la condición de saturado y con la superficie seca será el contenido de humedad de un árido. Por lo tanto, el agua absorbida más el contenido en humedad es el contenido total de agua. No se puede realizar el ensayo de absorción sobre el contenido total de agua. La absorción de agua está relacionada con los ensayos de heladicidad y estabilidad a los sulfatos.

1.6.5 POROSIDAD

La porosidad de un árido es la relación entre el volumen de poros u oquedades y el volumen total de esta partícula de árido, y se expresa habitualmente en

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

porcentaje. Hay que distinguir entre porosidad abierta y total; la abierta es el volumen de poros comunicados entre sí y con el exterior con respecto al volumen total. La porosidad total es el volumen total de huecos, estén o no estén comunicados entre sí y con el exterior.

Por su tamaño los poros pueden agruparse en supercapilares, capilares y subcapilares, y están relacionados con la permeabilidad siempre y cuando exista porosidad abierta. Esta clasificación por el tamaño y su relación con las leyes de la hidrostática se puede aplicar a las rocas ígneas y metamórficas.

Según el tamaño de los poros, las oquedades pueden ser:

- Capilares: son aquellas en las que los conductos tienen un diámetro entre 0.6 y 0.0002 mm. En estos casos el agua obedece a la atracción capilar y no circula libremente por la fricción con las paredes de la roca.
- Supercapilares: son aquellas en las cuales el agua responde a las leyes de la hidrostática y el diámetro de los poros es superior a 0.6 mm.
- Subcapilares: son las de tamaño de poro inferior a 0.0002 mm; en ésta se produce el fenómeno de adsorción: el agua penetra, pero se queda adherida a las paredes, lo que impide la entrada de más cantidad de agua.

1.6.6 ABRASIVIDAD

La abrasividad se define como la capacidad de las rocas para desgastar la superficie de contacto de otro cuerpo más duro por rozamiento. Esta propiedad es determinante para la elección del equipo adecuado de trituración, por ello se analiza más detalladamente en siguientes capítulos de este proyecto.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Los factores que elevan la capacidad abrasiva de las rocas son:

- La dureza de los granos constituyentes de las rocas. Las rocas que contienen granos de cuarzo son sumamente abrasivas.
- La forma de los granos: los más angulosos son más abrasivos que los redondeados.
- El tamaño de los granos y sus relaciones con la matriz.
- La porosidad de la roca, que da lugar a superficies de contacto rugoso con concentraciones de tensiones locales.

1.6.7 RESISTENCIA

La resistencia mecánica de una roca es la propiedad de oponerse a su destrucción frente a una carga exterior, estática o dinámica. Las rocas oponen una resistencia máxima a la compresión, y comúnmente la resistencia a la tracción no pasa del 15% de la resistencia a la compresión.

La resistencia depende fundamentalmente de su composición mineralógica, se debe tener muy en cuenta la presencia de cuarzo ya que rocas con presencia de este mineral presentan una resistencia por encima de los 500 MPa, mientras que la calcita tiene una resistencia a la compresión de 20 MPa. Habitualmente cuando existe una mayor presencia de cuarzo en una roca, la resistencia a la compresión y tracción aumenta.

1.6.8 ELASTICIDAD Y PLASTICIDAD

La mayoría de los minerales que componen las rocas tienen un comportamiento elástico-frágil. Esta característica pasa por diferentes estados, hasta llegar a la destrucción, cuando se supera el límite de resistencia, llamado

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

límite de elasticidad. En el momento en que en las rocas se supera el límite de la elasticidad, comienza la deformación plástica, en la cual la roca se deforma de una manera irreversible. La plasticidad depende de la composición mineral de las rocas, y disminuye con el aumento del contenido en cuarzo, feldespato y otros minerales duros.

Todos los cristales que forman las rocas se pueden deformar plásticamente, siempre y cuando se tenga la temperatura adecuada durante un tiempo suficiente en el que se mantenga el esfuerzo.

El concepto de fragilidad es siempre relativo, ya que, dependiendo de la presión confinante y de la temperatura, un mismo cristal puede comportarse como frágil o como dúctil.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

1.7 TRITURACION

Se denomina fragmentación o conminución al conjunto de etapas de reducción de tamaño de las rocas, dentro de esta definición en términos mineros se utiliza la terminología de trituración y molienda.

Trituración se utiliza para referirse a las primeras etapas de fragmentación, mientras que molienda o pulverización son términos utilizados para describir las últimas etapas de fragmentación.

Los áridos salen casi siempre de las canteras con unos tamaños no apropiados para su uso final en construcción de carreteras, edificios, presas, escolleras, otras obras de ingeniería civil e incluso en la industria del vidrio y la cerámica.

Para solucionar este problema, se utilizan los procesos de trituración y molienda. En ellos se dan los fenómenos de reducción de tamaño y en muchos casos se le da una cierta forma a la roca.

En las plantas de reducción de tamaño se tienen normalmente varios puestos de trituración y/o molienda y entre ellos se centran los procesos de clasificación.

La trituración, además de ser un proceso mecánico, es un proceso cinético en el cual los efectos moleculares ordinarios y químicos influyen de forma importante.

Las teorías basadas únicamente en los procesos mecánicos como las de Rittinger y Kick, ya han sido superadas, sin embargo por la falta de aparición de una teoría general plenamente satisfactoria y susceptible de una explicación total, se continúan conservando las teorías anteriores.

1.7.1 LEYES DE LA DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA

Por medio de la trituración es imposible obtener, granos que en su totalidad sean de volumen igual y uniforme. La trituración, realizada de forma que ninguno de los fragmentos sobrepase una dimensión previamente definida, conduce a la obtención de toda una gama de tamaños comprendidos entre dicha dimensión y la infinitamente pequeña. Estos fragmentos reducidos a una dimensión muy inferior al límite impuesto se denominan supertriturados.

Según lo que se pueda obtener, la supertrituración puede ser aconsejable o ser un inconveniente, es importante calcular con precisión e incluso hacer prever el estado dimensional de la materia triturada.

Los resultados del análisis granulométrico permiten determinar la dimensión media geométrica, la reducción de los módulos similares del material, el coeficiente de reducción y la desviación estándar.

1.7.2 CURVAS GRANULOMÉTRICAS

El porcentaje de los granos de cada dimensión generados en los procesos de trituración se presentan en curvas bien definidas que indican el tanto por ciento de paso o rechazo acumulado en ordenadas y las aberturas en abscisas. Estas curvas reciben en nombre de curvas granulométricas y existen varias formas de representación. Una muy empleada es la escala logarítmica que permite la representación de granos gruesos y granos finos.

En muchos casos las curvas granulométricas son bastante complicadas y se evitan dando la granulometría con un solo número. Suele ser bastante ver d_{50} ,

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

d_{80} , d_{90} y d_{95} que expresa el tamaño de la malla teórica cuadrada que dejaría pasar el 50%, 80%, 90% o 95% del material respectivamente.

En función de la estructura de la roca, se generan en la trituración más o menos trozos planos, en los cuales una de sus dimensiones es muy superior a la dimensión media del producto. Estos fragmentos denominados rechazos son separados y sometidos a un segundo proceso de trituración.

La estructura de las rocas es la causante de su ruptura; si son estructuralmente homogéneas, la ruptura se produce indistintamente a través de los granos o cristales y del cemento que las une, pero si son heterogéneas la ruptura tiene lugar a través del cemento. Esto ha generado una serie de estudios sistemáticos que han originado las siguientes conclusiones.

1. El porcentaje de finos aumenta a medida que aumenta el coeficiente de reducción; varias machacadoras sucesivas generan en total menos elementos ultrafinos que la trituración equivalente en una sola etapa.
2. La trituración de trozos planos, en los cuales una dimensiones muy superior a la media de las dimensiones, genera proporcionalmente más finos que la trituración de trozos de forma regular.
3. La forma media de los granos triturados varía con su emplazamiento en la escala de tamizado. Los granos más gruesos tienen una forma más alargada, los granos medios forma más bien cúbica y los finos suelen ser planos y alargados.
4. Si el proceso de trituración de una roca homogénea tiene lugar en una machacadora a la que se le pide un excesivo coeficiente de reducción,

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

la muestra obtenida estará formada por un porcentaje de granos muy finos. Prácticamente no se generarán granos de tamaño intermedios.

5. En un proceso de trituración de una roca heterogénea se genera un porcentaje mayor de partículas correspondientes a la dimensión media, que en caso de trituración de roca homogénea sometida a la misma reducción.

Las machacadoras de mandíbulas, como cualquier otro equipo de trituración, permite unos ajustes de su boca de salida que dará unas granulometrías finales u otras en función del equipo secundario seleccionado. Por ejemplo, una machacadora de mandíbulas de 1.600 x 1.300 mm de boca puede dar tamaños máximos superiores a los 350 mm, pudiendo llegar incluso a los 400 mm. Por el contrario, una machacadora de 800 x 600 mm conseguirá tamaños máximos por encima de los 70 mm, pudiendo llegar incluso a los 80 mm.

El reglaje de una machacadora de mandíbulas condiciona totalmente la curva granulométrica que se obtiene. De cualquier forma, entre el 75 y el 85% del material triturado por la machacadora es pasante por una malla que coincidirá con el cierre de la misma, y el 20 o 25% restante quedará retenido en esa malla, pudiendo ser su tamaño máximo hasta el doble del cierre de la machacadora.

Trasladados estos datos a un ejemplo, si se cierra una machacadora a 150 mm, el 80% del material que sale por la boca de salida tendrá un tamaño inferior a 150 mm, y el 20% restante tendrá un tamaño superior, siendo el tamaño máximo que produce esta machacadora, y que pasará al secundario, de 300 mm.

1.7.3 LEYES ENERGÉTICAS

La cantidad de energía teórica necesaria para la reducción de un fragmento de roca es uno de los aspectos más importantes en las operaciones de machaqueo. Han sido varios los científicos que han enunciado distintas fórmulas, entre ellos Hardgrove, Gross, Zimmerley, etc.

La primera teoría fue lanzada por Rittinger en el año 1876 y en resumidas cuentas decía que la energía necesaria para una reducción de tamaño es proporcional a la nueva superficie creada. Su aplicación es bastante exacta en lo que se refiere a la trituración media. Sin embargo, para grandes finuras conduce a resultados más favorables que los que pueden medirse en la realidad.

Posteriormente, en el año 1885, Kick enuncia una nueva teoría que “el trabajo requerido es directamente proporcional a la reducción de volumen entre las partículas antes y después de la operación de fragmentación o molienda”, es decir, proporcional a la variación de volumen de las partículas. Su aplicación se confirma únicamente para las operaciones de machaqueo grueso.

Matemáticamente se expresa:

$$W = K \cdot \log \left(\frac{D_{80}}{d_{80}} \right)$$

En 1951 Bond publicó, bajo el nombre de Tercera teoría, un ensayo de justificación matemática de la posición intermedia, relacionando la energía la energía no sólo a D^2 como Rittinger ni a D^3 como Kick, si no a $D^{2.5}$. Esta teoría parece acercarse más a la realidad que son sus antecesores, pero no es

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

aplicable a todos los materiales homogéneos, y no constituye más que una aproximación. Pese a ello, es la teoría que mejor se adapta a los casos reales. La teoría dice que la energía necesaria para una cierta reducción de tamaño es proporcional a la nueva longitud de fisura creada y su fórmula es la siguiente.

$$W = 10 \cdot W_i \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right)$$

Donde:

W – consumo energético en KWh por tonelada corta tratada. (1 tonelada corta = 907.2 Kg)

d_{80} – tamaño de la malla por el que pasa el 80% del producto (mm)

D_{80} - tamaño por el que pasa el 80% de la alimentación (mm)

W_i - Work Index (índice de trabajo o índice de Bond). Indica la resistencia que ofrece cada material a ser triturado o molido y depende de su naturaleza.

El índice de molturabilidad de Bond ha sido determinado para diversos materiales mediante una cantidad elevada de pruebas de laboratorio. Estos valores, deben considerarse a título indicativo. En general, se trabaja por referencia a una materia de naturaleza lo más parecida posible a la que se desea estudiar y cuyos resultados de trituración industrial ya se conocen. Esta materia testigo sirve en cierto modo para regular la máquina de pruebas, gracias a la cual se podrá establecer una relación de proporcionalidad entre las dos materias. La fórmula de Bond permite a continuación despejar las constantes correspondientes a la nueva aplicación prevista.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

El índice de Bond es bastante práctico en instalaciones de preparación mecánica de minerales que trabajan por vía húmeda. Sin embargo, en el caso de molienda fina por vía seca se ha puesto por evidencia el papel negativo que tiene la reaglomeración de las partículas más finas.

A pesar de los grandes progresos efectuados en los últimos 30 años, la utilización práctica de todos estos estudios teóricos sigue siendo, desde un punto de vista absoluto, muy casual. No es lo mismo cuando se intenta establecer comparaciones entre trituradoras cuyos coeficientes de reducción son similares. En este caso pueden calcularse algunos parámetros sobre la base de ensayos efectuados en una máquina de laboratorio, o por una máquina industrial. Seguidamente, y una vez calculados estos parámetros, se transpondrán los resultados, basándose en una u otra ley fundamental, pero tratando productos análogos en condiciones similares o por lo menos parecidas. Los resultados así obtenidos serán de una exactitud y una precisión muy válidas.

La resistencia de una materia a la fragmentación tiene una influencia mayor en cuanto a la cantidad de energía consumida. Esta resistencia a la fragmentación es un componente más o menos complejo de las distintas propiedades mecánicas de los materiales considerados, como la dureza, tenacidad, resistencia a la compresión, densidad, etc. Igualmente debe considerarse la abrasividad de los materiales, ya que es la causante del desgaste y, por lo tanto, de la duración de las piezas de desgaste de las máquinas.

1.7.4 GRANULOMETRÍA DE LOS PRODUCTOS FRAGMENTADOS

Los productos de una operación de fragmentación forman lo que se llama una dispersión sólida. La granulometría es el arte de medir los tamaños, formas y proporciones de los granos de una dispersión con el fin de tener un control de trabajo de las máquinas y un control de la calidad de los productos fragmentados.

Las dimensiones de los productos de una operación de fragmentación pueden ser medidas según diferentes métodos:

La medida directa se realiza sobre granos gruesos. El paralelepípedo rectángulo en el cual se inscribe un fragmento permite caracterizar el tamaño y la forma del mismo. La relación de dos de cualquiera de las tres dimensiones del paralelepípedo proporciona un índice de forma:

El índice de alargamiento es la relación del ancho sobre la longitud.

$$\text{Índice de alargamiento } \beta = \frac{\text{Ancho}}{\text{Longitud}}$$

El índice de aplanamiento o aplastamiento es la relación del espesor sobre el ancho.

$$\text{Índice de aplastamiento } \alpha = \frac{\text{Espesor}}{\text{Ancho}}$$

La combinación de los dos índices, proporciona el cuadro de formas de Pavillón, en el cual se indican las denominaciones de las diferentes formas de granos.

La medida por tamizado se realiza haciendo pasar la muestra sobre una serie de tamices cuyas aberturas y el tiempo de agitación mecánica son

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

normalizadas. El proceso puede ser aplicado por vía seca o húmeda, siendo este último método el que permite una mejor apreciación de la distribución granulométrica para partículas extremadamente finas o con cierta humedad. El límite del procedimiento es de 40 μm , aunque existe un tamiz de 10 μm y 20 μm que se puede utilizar incluso por vía seca bajo ciertas condiciones.

La medida por microscopio permite una observación directa con medidas individuales de las dimensiones, formas y números de granos de la muestra. Con el microscopio ordinario se permiten observaciones de hasta 0.2 μm y de 0.01 μm con el microscopio electrónico.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

La medida de sedimentación se basa en la apreciación de las velocidades de caída de las partículas en un fluido (Ley de Stokes). Las mediciones más comunes son efectuadas recogiendo y pesando las partículas retenidas en el fondo de un vaso cónico recorrido por una corriente continua y regular de pulpa (elutriador), o con pipetas a una cierta altura en una probeta de

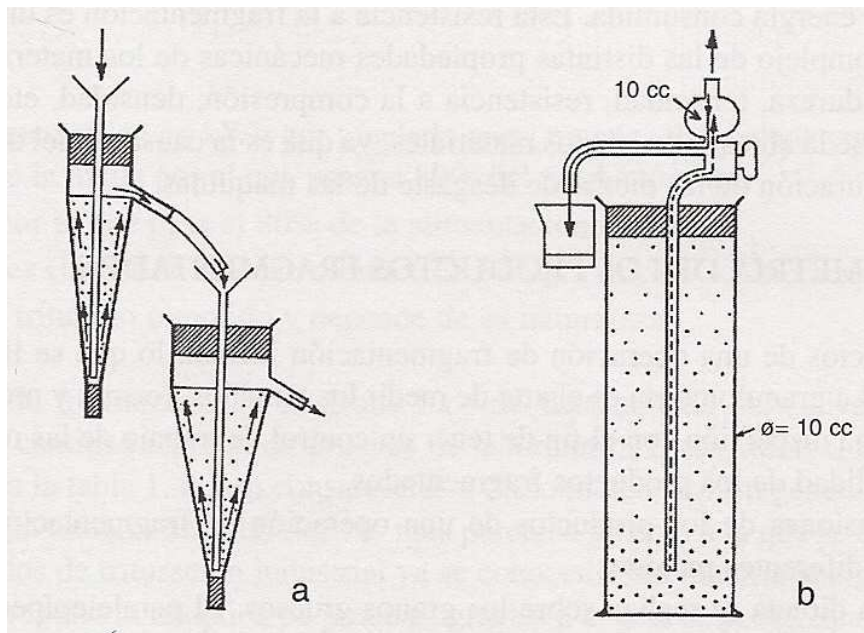


Ilustración 1.4 – a) Elutriador b) Pipeta Andreassen

decantación(pipeta de Andreassen). Los elutriadores dan un límite inferior de separación de 10 μm para las materias ligeras y 5 μm para las pesadas, mientras que las pipetas de Andreassen permiten descender hasta 1 μm .

La medida de las superficies específicas permite apreciar indirectamente el grado de finura de un producto y su medida se realiza de cinco formas diferentes:

- Por medidas de microscopio y cálculos
- Por medida de la fuerza coercitiva en los productos magnéticos

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

- Por medida de las velocidades iniciales de disolución bajo ciertos ataques ácidos o básicos
- Por adsorción de moléculas gaseosas
- Por medidas de permeabilidad: una capa horizontal de partículas finas cuyo grado de amontonamiento es constante, y por tanto más permeable a un fluido cuanto más gruesas son las partículas. Existe una relación empírica entre la velocidad de paso del fluido y la superficie específica del polvo. Se utiliza un líquido para las superficies específicas inferiores a 1.000 cm²/g y un gas para unas superficies específicas superiores a los 1.500-2000 cm²/g.

Existe una ley desarrollada por Kihlsted que liga la dimensión de los granos a la superficie específica.

$$S_1 \simeq \frac{500}{m\sqrt{d_{50}}}$$

Donde:

S_1 - superficie específica de Blaine en cm²/g

M – masa volúmica del material

d_{50} - dimensión de la malla del tamiz correspondiente al 50% del material pasante

Así, para un cemento $d_{50}= 30 \mu\text{m}$, S_1 será cercano a 3.000 cm²/g. Se estima que estas relaciones se encuentran en estrecha relación con la estructura del material.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

1.8 ANALISIS MECÁNICO DE LAS ROCAS

El conocimiento perfecto de las rocas que van a ser procesadas industrialmente resulta imprescindible para elegir las máquinas óptimas para tratar industrialmente las rocas, para ello será necesario obtener una serie de muestras del frente de cantera o futura cantera mediante testigos para someterlos a una serie de ensayos para conocer su funcionamiento mecánico.

Estas muestras de rocas que se ensayan antes de diseñar y abrir una explotación minera, han sido sometidas a los esfuerzos que soporta la corteza terrestre y por tanto contendrán planos de debilidad o discontinuidades que se tendrán que contemplar al analizar el resultado de los ensayos al que han sido sometidas.

1.8.1 INTRODUCCIÓN

Una roca definida petrológicamente se identifica con una textura y una composición de minerales principales, minerales secundarios y minerales accesorios. Con estos datos se puede denominar a la roca con un nombre, el cual estará acompañado de otros. Por ejemplo en una cantera se puede obtener una andesita biotítica y en un frente cercano obtener una andesita anfibólica que pueden tener un distinto comportamiento mecánico.

Resulta obvio que la maquinaria a utilizar en las etapas de trituración se deberá adaptar al tipo de roca para que esta pueda realizar su trabajo correctamente y con unos costes aceptables. Además, dicho árido se tendrá que ajustar a las necesidades de los clientes.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Por ello es necesario realizar unos ensayos mecánicos, que aportarán unos parámetros que permitirán definir perfectamente la maquinaria necesaria para la línea de producción, descartando aquella que no sea útil evitando graves problemas como tener que sustituir una máquina inadecuada después de haber realizado una costosa inversión.

Al no existir en España una normativa para determinar qué maquinaria debe de ser empleada para machacar una roca con unas propiedades mecánicas concretas, se utilizarán las recomendaciones internacionales o de los propios fabricantes de equipos.

En países más avanzados, a cualquier roca con la que una maquinaria determinada vaya a estar interrelacionada se le determina su valía a través de una serie de ensayos a los que se les denomina rock test, que dependiendo de unos casos u otros contará con mayor o menor número de ensayos. Cuando se elijan los resultados del test y se tengan los resultados de los mismos, se estará en condiciones de elegir el equipo adecuado para trabajar la roca estudiada, así como el coste de la maquinaria, amortización, energía consumida, alimentaciones, etc.

El rock test se debe tener en cuenta en el análisis de inversiones que se realiza en la apertura de una cantera, este test debe ser el protagonista de la explotación y con su información se realizará un preciso análisis de la futura inversión.

La elección de la maquinaria de trituración se realiza desde el conocimiento de la roca, buscando la rentabilidad económica del proyecto de explotación y sin

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

olvidar que el árido fabricado está destinado a unos clientes determinados o a un mercado específico.

Un diagrama de flujo de una instalación debe ser diseñado por un técnico con experiencia y variará en función de los equipos que se utilicen y de la alimentación recibida. Para la elección de una planta de trituración existe la regla de las cuatro “C” (4C) de Antonio Durán (2).

- Componentes y propiedades de la roca.
- Curva granulométrica de alimentación.
- Cantidad, como producción media de la planta.
- Curva granulométrica de los productos finales (Clientes).

Las 3 últimas “C” pueden ser modificadas, ya que pertenecen al terreno del proceso industrial, pero la primera procede de la naturaleza y determina las otras 3 de una manera u otra.

1.8.2 ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE UNA ROCA

Existen diversos ensayos que pueden ser útiles para conocer una roca, la cual entrará a formar parte un proceso industrial. Se debe conocer la resistencia a compresión simple y la resistencia de la roca al impacto y al desgaste con ensayos como Los Ángeles, Deval, Impacto y Fragmentación Dinámica, Índice de trabajo de Bond (Wi) y triturabilidad. Así como la densidad real, la abrasividad de la roca y la determinación de sílice libre.

En esta serie de ensayos no se trata la densidad de la roca, que se describe en otro apartado del proyecto y no resulta de vital importancia en una machacadora de mandíbulas, no siendo esto válido por ejemplo para un molino

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

impactor, donde la densidad resulta imprescindible para obtener la energía cinética de impacto en la trituración

1.8.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN

La resistencia mecánica de una roca es la propiedad de oponerse a su destrucción frente a una carga exterior, estática o dinámica. Las rocas oponen una resistencia máxima a la compresión y la resistencia a la tracción suele ser el 15% de esa resistencia a la compresión.

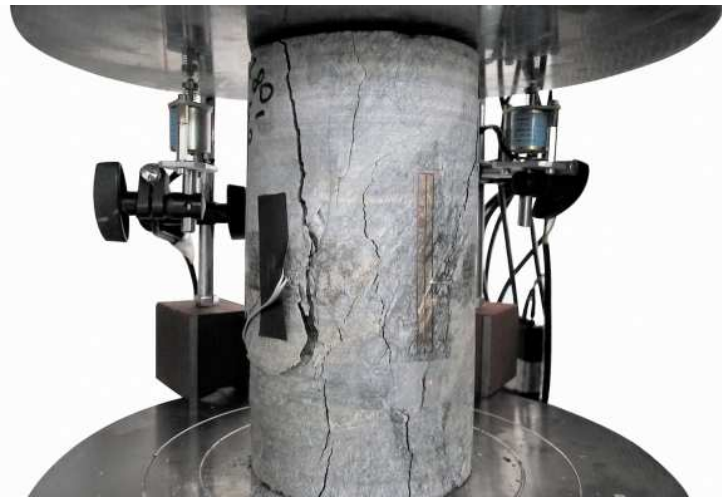


Ilustración 1.5 - Ensayo de resistencia a la compresión simple

La resistencia de las rocas depende en gran medida de su composición mineralógica, por ello la importancia del estudio petrológico.

En la deformación de una roca al aplicarle un esfuerzo se observará primero con un comportamiento elástico, plástico y después rotura. Este ensayo predice estos comportamientos cuando el esfuerzo aplicado es uniaxial. En mecánica de rocas no existen esfuerzos uniaxiales puros, ni tampoco en las máquinas de trituración los esfuerzos son así ya que existen otros esfuerzos que la máquina transmite triaxialmente. Además en estos equipos existen las peligrosas

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

deformaciones por cizalla al aplicar una fuerza de compresión entre superficies no paralelas

El ensayo triaxial se describe en las normas americanas ASTM D2664 y D5407 y consta de una muestra de rocas contenidas en una membrana de goma que se coloca dentro de una célula triaxial y se somete a una presión de entre 5 y 60 MPa que se mantiene constante todo el ensayo, una vez preparada la célula triaxial se le aplica una carga axial obteniendo la siguiente información:

- Tensión máxima de rotura
- Módulo de Young
- Coeficiente de Poisson
- Velocidad de tensión en función de la deformación axial y radial
- Cohesión y fricción.

1.8.4 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE

El ensayo de resistencia de la roca a compresión simple o ensayo uniaxial viene definido por las normas ASTM D3148, D2938 y C170. Este ensayo genera una información muy viable y debe de ser incluido en el estudio de cualquier roca.

El procedimiento comienza con la toma de muestras irregulares de las que luego se obtendrán probetas de roca fresca, de las que se extraerán cilindros de 50 mm de diámetro y se cortarán con una relación altura/diámetro entre 2 y 2,5. Esta probeta será rectificadora, dejando las caras inferiores lisas, pulidas y paralelas entre sí. El ensayo se realiza aplicando carga creciente, controlada a

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

velocidad de tensión constante hasta alcanzar la rotura. Este ensayo se puede realizar con la normativa española UNE 22950-1 (1990).

Cuando el valor de resistencia a compresión simple es superior a 180 Mpa se debe pensar que una machacadora de mandíbulas no es la máquina adecuada, aunque se podrá trabajar con ella teniendo en cuenta el menor tiempo de vida útil de la misma.



Ilustración 1.6 – Prensa para ensayo de carga puntual

El índice de carga puntual (ASTM D5731, UNE 22950-5) o ensayo Franklin es un ensayo para obtener una información rápida sobre la resistencia de la roca.

Los límites de trabajo a los que hay que dedicar atención cuando se elige un equipo de trituración, en lo que al ensayo

de compresión uniaxial se refiere, son los siguientes:

- | | |
|--|---------------------|
| - Hasta 700 kg/cm ² | Blando |
| - Entre 700 y 1500 kg/cm ² | Medio |
| - Entre 1500 y 2200 kg/cm ² | Duro |
| - Entre 2200 y 3500 kg/cm ² | Muy duro |
| - Mayor de 3500 kg/cm ² | Extremadamente duro |

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Los fabricantes serios tienen como norma general bien estudiado hasta qué resistencia de roca pueden trabajar sus máquinas.

1.8.5 RESISTENCIA AL IMPACTO, AL DESGASTE Y A LA FRAGMENTACIÓN

Existen numerosos trabajos para medir la resistencia de las rocas, Ramsay (3) estudió coeficientes de impacto y coeficientes de fragmentación de un numeroso grupo de rocas e incluso relacionó la lajosidad con la variación de estos coeficientes, determinando que las lajas pueden introducir variaciones en la medida de los coeficientes de hasta un 60%. Otra de las conclusiones a las que llegó Ramsay, fue que una roca de grano fino tiene mejor comportamiento que las de grano grueso. Cabe decir que Ramsay se centró en rocas de origen ígneo.

Shergold (4) y Hosking (5) determinaron el coeficiente de impacto modificado en el que, en vez de un número determinado de caídas libres del martillo como hacía Ramsay, se dejaba caer el martillo el número de veces que creara un porcentaje de finos mayor del 5% y menor del 20%. Ramsay también definió el coeficiente de impacto del residuo y el coeficiente de fragmentación del residuo.

Un ensayo muy recomendado es el ensayo de fragmentación dinámica, basado en el método Ramsay y que indica una resistencia del material contra el impacto. El ensayo se describe en la norma francesa NF P 18-574.

En Alemania existe el ensayo de resistencia al impacto cuya norma de aplicación es la DIN 52-115 2ª parte.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Evidentemente, existe una correlación entre el coeficiente de impacto, el ensayo de resistencia al impacto y la fragmentación dinámica.

El ensayo según norma francesa NF P 18-574 de la fragmentación dinámica, junto con el ensayo de resistencia a la compresión uniaxial son muy recomendados hasta los ahora vistos.

La medida del desgaste con la máquina Los Ángeles es un ensayo fundamental tanto para conocer y evaluar una roca como para el seguimiento dentro de un control de la calidad de la explotación. Además existe una correlación entre la triturabilidad y el valor de desgaste de los Ángeles.

El valor de desgaste Los Ángeles aparte de estar relacionado con importantes ensayos, tanto de fragmentación como de triturabilidad, es un ensayo muy conocido y usado, existe amplia normativa en diferentes países y en España se aplica la norma europea EN 1097-2.

Este ensayo consiste en someter a una muestra de árido de una determinada granulometría al desgaste por impacto, y atrición o abrasión introduciendo la muestra en un cilindro que gira a un determinado número de vueltas en presencia de un grupo de bolas de acero. La máquina en sí es un tambor de acero laminado. El resultado se expresa por diferencia entre la masa original de la muestra y la masa de la muestra una vez ha terminado el ensayo y se ha tamizado por una luz de 1.6 mm, se expresa en % y cuanto más bajo sea este porcentaje, se podrá decir que más competente es la roca en cuestión.

Debido a la cierta confusión genérica entre el desgaste de Los Ángeles y otros ensayos equiparables a este como el de fragmentación dinámica, se hace una aclaración en este apartado.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

El ensayo de desgaste Los Ángeles es una herramienta muy útil para el cantero y el profesional de los áridos, pero existe un error generalizado en cuanto a la información obtenida.

El ensayo mide como se desgasta un árido por la acción de terceros elementos y no como el árido desgasta los elementos fungibles.

Algunos vendedores de poca experiencia no tienen este concepto del todo claro. Existen áridos con bajo desgaste de Los Ángeles con buena triturabilidad y no muy alta abrasividad, existen rocas que aguantan muy bien el desgaste sin sufrir mucho deterioro por la acción de otros elementos y que sin embargo no dan valores altos en el índice de abrasividad. El ensayo de Los Ángeles tiene en cuenta la reducción roca contra roca, pero en el caso de las machacadoras este ensayo no sirve para determinar de manera categórica la utilización de la machacadora como primario, por lo que los resultados de este ensayo se deben de combinar con los obtenidos en otros ensayos.

1.8.6 CONSUMO DE ENERGÍA: ÍNDICE DE BOND

La teoría de Bond es la tercera teoría enunciada para calcular la energía teórica necesaria para la reducción de una roca de determinado tamaño tras las enunciadas por Rittinger en 1876 y Kick en 1885.

La teoría de Bond es la que más se ajusta a los casos reales y dice que la energía necesaria para una cierta reducción de tamaño es proporcional a la nueva longitud de fisura creada, o también se puede enunciar diciendo que el trabajo requerido para reducir a un tamaño dado un sólido de tamaño

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

prácticamente infinito, es proporcional a la raíz cuadrada de la relación superficie-volumen, y su fórmula es:

$$W = 10 \cdot W_i \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right)$$

Donde:

$W \rightarrow$ Consumo energético en kW·h por tonelada corta tratada (1 tonelada corta = 907.2 kg)

$d_{80} \rightarrow$ Tamaño de la malla por el que pasa el 80% del producto (mm)

$D_{80} \rightarrow$ Tamaño de la malla por el que pasa el 80% de la alimentación (mm)

$W_i \rightarrow$ Work Index (índice de trabajo o de Bond). Indica la resistencia que ofrece cada material a ser triturado o molido y depende de su naturaleza.

1.8.7 INDICE DE ABRASION

Existe un ensayo que determina el coeficiente de abrasión, definido en la norma británica BS 812 parte 13, que proporciona una estimación del desgaste superficial de una muestra de árido. Básicamente se coloca una muestra de árido sobre una capa de resina de poliéster y esta muestra se apoya en una pista giratoria, añadiendo además arena tipo Leighton Buzzard para incrementar el desgaste. El ensayo mide el desgaste del árido y está relacionado con el coeficiente de pulimento acelerado. En España este ensayo se realiza con la norma EN 1097-8.

Incidir en que este coeficiente indica cómo se desgasta un árido y no como un árido desgasta al acero, por ejemplo las cuarcitas que tienen una abrasividad muy alta imprimen un gran desgaste a los elementos de las plantas de machaqueo.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

1.8.8 TRITURABILIDAD

La triturabilidad es la facilidad que ofrece una roca para ser triturada.

Dentro de la escasa normativa que hay al respecto, sobre todo en España, existen algunos ensayos que son utilizados para determinar parámetros que pueden no ser los más indicados, pero que en manos de un técnico que sea capaz de correlacionar datos pueden tener un alto valor.

En este caso existe una norma inglesa, la BS 812:110 que determina el valor de trituración de los áridos. Consiste en una base cilíndrica en la que se introduce una muestra de árido y sobre ella se aplica con una varilla apisonadora una carga compresiva de manera gradual por medio de un pistón y un cilindro. Una vez aplicada la presión, se mide en una escala el valor de trituración de los áridos de la muestra.

Sin embargo, para la determinación de la triturabilidad que está relacionada con el índice de trabajo de Bond, se recomienda en ensayo con normativa francesa NF P 18-579 que se utiliza para calcular la abrasividad y la triturabilidad de una roca.

1.8.9 SILICATOS Y MINERALES DE SILICE

Existen dos criterios para clasificar los minerales como son la composición química y la estructura de su red cristalina. Según esto se obtienen los siguientes grupos: elementos, sulfuros, sales, óxidos e hidróxidos, sulfatos, grupo de los carbonatos, nitratos y boratos, grupo de los cromatos molibdatos y wolframatos, grupo de los fostaños, arseniatos y vanadatos y el grupo de los silicatos.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

El grupo de los silicatos es en el que se incluyen los minerales de la sílice. Son el grupo más numeroso constituyendo el 90% de la corteza terrestre. En las rocas ígneas y en las metamórficas casi todos los minerales son silicatados y la mayor parte de los minerales accesorios también. Lo mismo se puede decir de las rocas sedimentarias detríticas.

No resulta de especial interés en el presente proyecto explicar la estructura de los silicatos, pero sí mencionar los grupos que forman los silicatos que son: nesosilicatos, sorosilicatos, ciclosilicatos, inosilicatos, filosilicatos y tectosilicatos, todos ellos se caracterizan por su gran dureza, excepto los filosilicatos por su carácter laminar.

1.8.10 HUMEDAD

El contenido en sílice es el mejor referente de la abrasividad, pero existen otros factores que se deben estudiar a la hora de calcular el coste de las piezas de desgaste o fungibles de las trituradoras como la velocidad de giro, la producción y sobre todo y fundamentalmente la humedad.

El contenido en humedad puede incrementar en un porcentaje muy alto la abrasividad de una determinada roca sobre una máquina de trituración y sobre el resto de los equipos que intervienen en el proceso. La humedad provoca que las partículas finas se adhieran a las partículas más gruesas, con lo cual se produce el efecto de incrementar la abrasividad de estas partículas gruesas, es decir, se hacen más abrasivas.

Por regla general no se debe trabajar con alimentaciones que superen el 9% de humedad y, además, se intentará reducir este valor todo lo posible.

1.8.11 CUADRO DE ENSAYOS

Cuando se presente la oportunidad o la necesidad de abrir una nueva instalación minera con el diseño de su sistema de explotación y de su planta de trituración se debe aplicar la ya comentada regla de las 4C.

La primera C, es decir, los componentes y propiedades de las rocas, determinaran qué tipo de maquinaria se debe utilizar con lo cual estará en cierta medida determinando las otras C. Se puede encontrar en caso de que una roca tenga mucha fragilidad y unos planos de debilidad paralelos que produzcan que la rotura sea siempre en forma de laja o acicular, y se trata de una roca con un índice de abrasividad alto (1ªC) y, además, los clientes (4ªC) exigen material perfectamente cúbico con una pequeña proporción de lajas. Aquí se puede tomar la determinación de poner en la trituración secundaria molinos impactores o trituradores de cono. En el caso de poner impactores se puede conocer el coste futuro en fungibles, y en caso de poner trituradores de cono se pueden establecer los niveles de no conformidad del árido con respecto a los clientes, y si éstos son asumibles por la empresa. Quiere esto decir que, aparte de otras muchas consideraciones (amortizaciones, 2ªC, 3ªC, etc.), se pueden hacer modelos de producción a priori, que ayudarán a la elección correcta de la maquinaria.

El nivel de acierto en la elección de maquinaria se incrementará a medida que aumente el conocimiento del material que se va a procesar (1ªC). Puede parecer superfluo el hecho de explicar que para elegir con acierto una planta de trituración llave en mano que puede costar varios millones de euros, se debe

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

analizar exhaustivamente la roca a tratar, cuyo coste es de unos pocos miles de euros.

En este TFG se recomiendan ocho ensayos indispensables a la hora de conocer el producto a tratar y a comercializar, y se hacen igualmente necesarios para que los equipos elegidos puedan conseguir un producto final adecuado.

Resistencia a compresión simple	CS
Densidad real	DR
Fragmentación dinámica	FD
Los Ángeles	LA
Índice de trabajo de Bond	Wi
Determinación sílice libre	SiO_2
Índice de abrasividad	IA
Triturabilidad y abrasividad	TR y ABR

1.9 FRACTURACIÓN EN LAS ROCAS

Una vez que tienen lugar los esfuerzos de forma continuada y se van produciendo las deformaciones en la roca, llega un momento que la piedra no

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

tiene más capacidad para deformarse y se produce lo que se conoce como rotura o fracturación. Sin embargo, en función del tipo de esfuerzos, de su dirección, intensidad, del tipo de roca y de las condiciones ambientales que rodean a la roca, esta fracturación puede ser de muchos tipos, y teniendo en cuenta que la morfología final de la roca triturada es fundamental para su utilización en unos u otros usos en la obra pública y construcción, este es un parámetro ciertamente importante.

Como es sabido, las rocas trituradas con alto índice de lascas son normalmente despreciadas, valorándose aquellas otras que tienen las tres dimensiones más parejas, aumentado su valor cuanto más cúbicas son.

En la clásica curva de esfuerzo-deformación se puede llegar a apreciar hasta dos tipos de fracturas. La conocida como fractura frágil es aquella que tiene

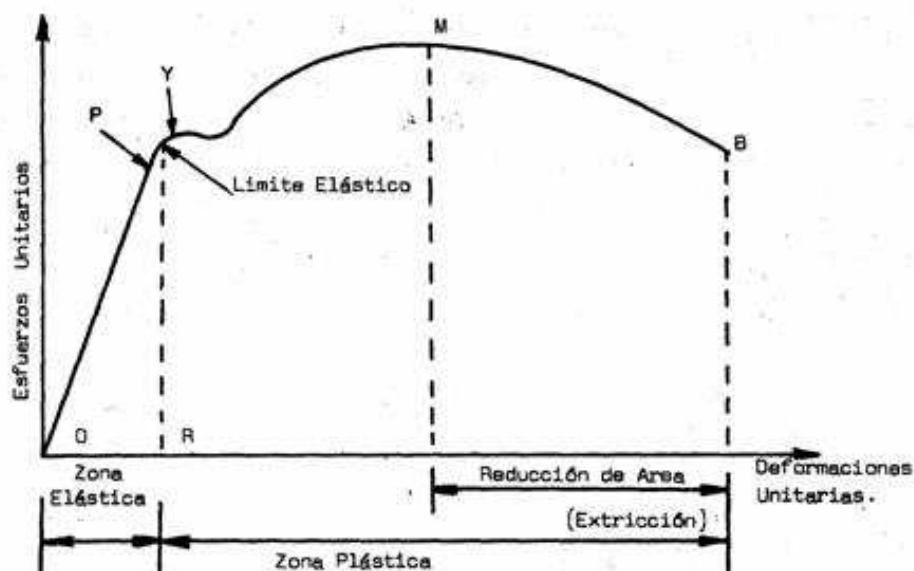


Gráfico 1.1 – Curva de esfuerzo-deformación

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

lugar en la etapa elástica de la roca, mientras que la fractura dúctil es aquella que se produce en los materiales dúctiles que tras una deformación plástica de importancia se produce una rotura con pérdida de cohesión.

Sin embargo, para conocer en profundidad los tipos de rotura que se producen realmente en la naturaleza se utilizan unos equipos muy sofisticados para la realización de lo que se conoce como ensayos de compresión triaxial; unos ensayos evolucionados de los uniaxiales donde se suma la presencia de la presión de confinamiento. En estos ensayos, mediante prensas, se intenta simular, con cierta aproximación, las condiciones de confinamiento existentes de presión y temperatura a la que se encuentran sometidas las rocas en una profundidad de hasta 15 km.

Mientras que el ensayo uniaxial se lleva a cabo aplicando una carga creciente a velocidad de tensión constante entre 0.5 y 1 MPa/s, en el ensayo triaxial las muestras se someten a presión isotrópica que se mantiene constante durante todo el ensayo, para a continuación aplicar una carga axial. A partir de las mediciones registradas durante el ensayo se obtienen la velocidad de tensión en función de la deformación axial y radial, la tensión máxima de rotura, la proporción entre la deformación radial y la deformación axial y la tensión máxima respecto la presión para definir la envolvente de rotura y las propiedades de cohesión y fricción de la muestra.

Para el conocimiento real de los tipos de fracturas que se dan en una roca mediante los distintos ensayos uniaxiales y triaxiales, y posteriormente poder trasladar los resultados y las experiencias a los distintos equipos de conminución, hay que fijarse en la clasificación de los tipos de fracturas que

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Griggs y Handin definieron en 1960. Por un lado se encuentran lo que se conocen como fracturas de cizalla, en las cuales el desplazamiento que tiene lugar en el interior de la roca es paralelo o subparalelo a la superficie de fractura, siendo el ángulo que se forma menor de 45° con la dirección del esfuerzo de compresión principal, predominando los ángulos comprendidos entre los 20 y 30° . Este tipo de fractura generada es la fractura frágil que suelen darse en ensayos de compresión triaxial a bajas presiones de confinamiento.

Cuando la presión confinante que se da en una compresión triaxial es muy elevada, se genera una familia de pequeñas fracturas acompañada de una deformación dúctil importante. En algunas circunstancias estas familias pueden tener dos orientaciones diferentes, ambas con el mismo ángulo con respecto al esfuerzo de compresión.

Estos ensayos generados en laboratorio y que intentan simular el comportamiento de las rocas confinadas sometidas a grandes esfuerzos se asemejan muchísimo a los procesos compresivos a que las rocas están sometidas en las cámaras de trituración de algunos equipos de conminución. De hecho, las fracturas de cizalla, tan características en las machacadoras de mandíbulas y en los trituradores de cono, son un quebradero de cabeza para todo cantero que busque la máxima cubricidad en su producto final.

Por otro lado se encuentran lo que se denominan las fracturas de extensión. En este tipo se dan fracturas perpendiculares al esfuerzo de compresión y se producen habitualmente en los ensayos de tracción uniaxial. Este tipo de rotura se asemeja más a la rotura que tienen las rocas que son trituradas en los

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

molinos impactores, donde el golpe contra las pantallas de impacto o los yunques en los molinos impactores de eje vertical generan roturas perpendiculares y, por lo tanto, dan formas más cúbicas.

1.10 DEFORMACIONES Y ROTURAS

Las fuerzas que las máquinas de trituración aplican a las rocas, producen sobre estas unas deformaciones hasta que se alcanza la rotura. Los factores petrográficos de una roca que intervienen en el fenómeno de ruptura son el grado de alteración y fisuración, la naturaleza de los minerales que la componen, la cristalografía y dimensiones de éstos, la microfisuración, la heterogeneidad de la muestra y la orientación preferencial de los minerales y/o de las fisuras.

Cuando un fragmento de roca es sometido a la acción de un equipo de trituración, inicialmente se dan multitud de deformaciones a la vez; deformación elástica, viscoelástica, permanente y la deformación de la variación de tensión de carácter viscoso o viscoplástico, cuando estas deformaciones alcanzan un valor límite el fragmento de roca en cuestión se desintegra en tamaños más pequeños. La rotura puede ser por estratificación o separación, por cizallamiento y por deformación plástica.

Normalmente la dimensión de los cristales más grandes es la que condiciona la resistencia a la ruptura.

1.11 DEFORMACIONES SEGÚN LOS DISTINTOS EQUIPOS DE TRITURACIÓN

Las fuerzas que actúan sobre las rocas y que generan las distintas deformaciones son la compresión, cuando el material es aprisionado entre dos superficies que se cierran; impacto o percusión, cuando el material es golpeado y proyectado contra otra superficie; y abrasión o atrición, en los cuales la reducción se realiza por erosión.

Como consecuencia de las fuerzas que actúan siempre en un equipo de trituración, aparecen otro tipo de fuerzas secundarias, denominadas de cizalla, muy importantes en los equipos de trituración por la morfología final de los materiales que producen. La aparición de estas fuerzas secundarias determinará en mayor o menor medida la aparición de materiales lajosos y aciculares. Generalmente aparecen en los equipos que actúan por compresión, como son las machacadoras de mandíbulas, los trituradores de cono y los molinos de cilindros, y tienen lugar como consecuencia de la aplicación de fuerzas en planos no paralelos. Esto genera una cizalla que produce la deformación de la roca y la rotura por los planos más débiles. En las machacadoras de mandíbulas y en los molinos de cono son muy conocidas para la aparición de lajas, una morfología de piedra muy poco deseada en los materiales de construcción.

1.11.1 DEFORMACION DE LA ROCA EN LAS MACHACADORAS DE MANDÍBULAS

Las machacadoras de mandíbulas son equipos que se utilizan fundamentalmente para reducción primaria. Por lo tanto, la aparición de elementos lajosos y aciculares no es del todo importante, pues se puede corregir la forma con otros equipos de reducción posteriores.

Las machacadoras de mandíbulas están formadas por una mandíbula fija y otra móvil, esta última con un movimiento de acercamiento y alejamiento. Estas mandíbulas forman un ángulo que suele ser de unos 27° , lo que supone que la

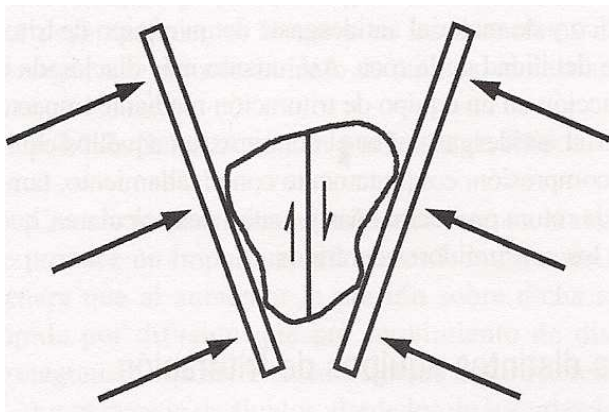


Ilustración 1.7 – Esfuerzos sobre la roca en una machacadora de mandíbulas

compresión entre ellas no viene dada por una presión totalmente perpendicular.

Si a este aspecto se le suma que el movimiento del mecanismo excéntrico transmite a la mandíbula móvil un movimiento

ligeramente elipsoidal que se va agudizando según se desciende por la cámara de trituración, a las presiones ejercidas por las mandíbulas se suman unas fuerzas secundarias de cizalla, que van incrementándose a medida que el material va pasando por la cámara de trituración. Estas fuerzas de cizalla, sumadas a las de compresión son las responsables de la fragmentación de la roca por los planos de debilidad dando lugar a la formación de lajas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

1.12 ABRASIVIDAD

La abrasividad es una característica intrínseca de cada roca directamente relacionada con su armazón mineral. El armazón determinará la abrasividad sobre todo, dependiendo del contenido en sílice, esta sílice puede ser libre o estructural.

Además del contenido en sílice la abrasividad también se determina por el tamaño de los granos y su relación con la matriz, la dureza y forma de estos granos, la porosidad también puede crear abrasividad al crear rugosidad, que a su vez crea tensiones locales.

Atendiendo a la abrasividad y suponiendo bloques de roca de frente de cantera de 1 m, resulta obvio que el impactor y el molino de cilindros están limitados por un simple problema de fungibles, también conocido como piezas de desgaste. Para aguantar altas abrasividades del fungible del molino impactor será un compuesto de manganeso, que llevará una proporción elevada de cromo o níquel, con lo cual será más frágil. En un molino de cilindros, el desgaste lo sufrirán las camisas de los cilindros y/o los dientes y portadientes desaconsejando su utilización.

El impactor como equipo primario se puede utilizar si el índice de abrasión (IA) es muy bajo, que debe ser inferior a 0.025, si el ensayo es utilizado es el de abrasividad (ABR) los valores deben estar por debajo de 200g/t y que el contenido en sílice sea menor del 5%.

A excepción del caso de rocas sin apenas contenido en sílice, a la hora de elegir un equipo primario en cuanto a la abrasividad el equipo adecuado es otra

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

vez la machacadora de mandíbulas y en el caso de que se pudiera utilizar un impactor, siempre se podría utilizar una machacadora de mandíbulas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MACHAQUEO

La gran diversidad de máquinas de machaqueo que hay disponibles actualmente en el mercado permite hacer clasificaciones muy diversas de las mismas. En primer lugar se puede hacer una clasificación en función de la gama de reducciones volumétricas, pudiendo ser machacadoras primarias, secundarias, terciarias, gravilladores, areneros, etc. En función del tipo de material que machacan se pueden clasificar en machacadoras para materiales duros, abrasivos, húmedos, heterogéneos, friables, etc. Sin embargo, una de las clasificaciones más utilizadas es la basada en los tipos de fuerzas que emplean los equipos. Estas fuerzas son la compresión, la abrasión o atrición, el impacto y el cizallamiento, lo que permite clasificar a los aparatos en aquellos que actúan por compresión, por impacto y por abrasión. Estos últimos son más bien utilizados en etapas de molienda con los molinos de bolas, barras, autógenos y semiautógenos, mientras que los dos primeros son los habitualmente empleados en machaqueo.

El tipo de molino, así como su tamaño y el número utilizados en una planta completa de trituración varía con el volumen de mineral que debe ser procesado, el tamaño de la explotación, la dureza del mineral, el tamaño máximo del todo-uno y el tamaño requerido en el producto final.

Como se ha comentado anteriormente, la trituración puede ser primaria, secundaria, terciaria, etc., en función de las veces que necesite ser el mineral reducido de tamaño. Han sido varios los expertos los que ha intentado determinar los límites dentro los distintos tipos pero actualmente no existe ninguna norma para delimitar los límites por tamaños. Téngase en cuenta que

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

en una instalación determinada un molino terciario puede estar trabajando con materiales de mayor tamaño que un molino secundario de otra instalación.

En la trituración primaria se utilizan únicamente las machacadoras de mandíbulas, los molinos de impactos o impactores y los trituradores giratorios.

Las machacadoras de mandíbulas actúan por compresión de los materiales entre las paredes, una fija y otra móvil, con un ángulo de trituración aproximado de 27°.

Los impactores o molinos de impactos reducen los materiales por impacto gracias a unos martillos o impactores fijos o móviles sujetos a un rotor central. El tamaño de los materiales triturados depende de la friabilidad del material y de la velocidad del rotor.

El principio de la trituración por impacto se basa en la energía del rotor. La energía cinética es impartida de partícula a partícula del material y se utiliza para destruir la estructura interna de las propias partículas por los planos más débiles.

Los beneficios de usar molinos de impactos frente a las machacadoras o giratorios son el menor capital invertido por tonelada de capacidad, mayor capacidad de peso por peso de un triturador comparable de mandíbulas o giratorio, mayor cubicidad en el producto y una mayor gradación de productos finos.

Un triturador giratorio está formado por un cono montado en un eje vertical dentro de una carcasa rígida. Dicho eje mantiene la parte superior estacionaria mientras que la parte inferior gira excéntricamente, lo cual transmite al cono un movimiento excéntrico pendular. Los materiales al introducirse en el cono por la

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

parte superior caen por gravedad y son comprimidos entre las paredes de la carcasa y el cono excéntrico que gira en el centro.

Estos equipos se caracterizan por la gran abertura de alimentación en comparación con otros trituradores y la gama tan alta de tamaños y capacidades comprendidas entre 600 y 6.000 t.

En la trituración secundaria se utilizan machacadoras de mandíbulas, muy utilizadas en fábricas de cal, gravilladores e impactores, mientras que en la trituración terciaria son los impactores, centrífugos, molinos de martillos, molinos de eje vertical y conos los más utilizados habitualmente.

En la trituración cuaternaria se utilizan prácticamente siempre ya equipos de molienda, por lo tanto, reciben el nombre de molienda primaria.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.2 MACHACADORAS DE MANDÍBULAS. DEFINICIÓN.

Las machacadoras de mandíbulas son equipos de trituración que trabajan por compresión en etapas primarias en las canteras o explotaciones mineras, rara vez se pueden ver como unidades secundarias.

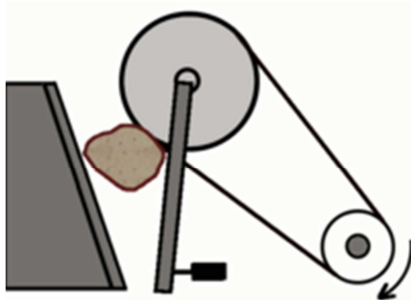


Ilustración 2.1 – Representación de una machacadora de mandíbulas

Son máquinas muy robustas, al estar en el primario reciben grandes bolos del frente de cantera o mina y para su montaje junto con el de sus elementos complementarios como la tolva, el alimentador y las cintas de evacuación, necesitan una importante obra

civil, ya sea estructura metálica o de hormigón.

Una machacadora de este tipo viene a pesar entre 6 y 150 toneladas.

Estos equipos consiguen reducciones importantes, existen machacadoras con boca de entrada de 630 x 440 mm con una salida de 40 mm y las más grandes con una boca de 2.150 x 1.600 mm con dimensión de salida de hasta 180 mm.

Este equipo genera gran cantidad de lascas, pero al ser un equipo primario esto no es realmente un problema, en el pasado llegaron a tener su importancia como equipos secundarios, pero en la actualidad han sido sustituidas por impactores y trituradores de cono principalmente.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.3 TIPOS DE MACHACADORAS DE MANDÍBULAS

Existen tres tipos básicos de machacadoras de mandíbulas; tipo Dodge, tipo Blake o de doble efecto y de simple efecto.

2.3.1 TIPO DODGE

Las machacadoras tipo Dodge son las más simples mecánicamente hablando. La mandíbula móvil es accionada por una excéntrica unida directamente a la prolongación de esta mandíbula. El eje de oscilación se encuentra en la

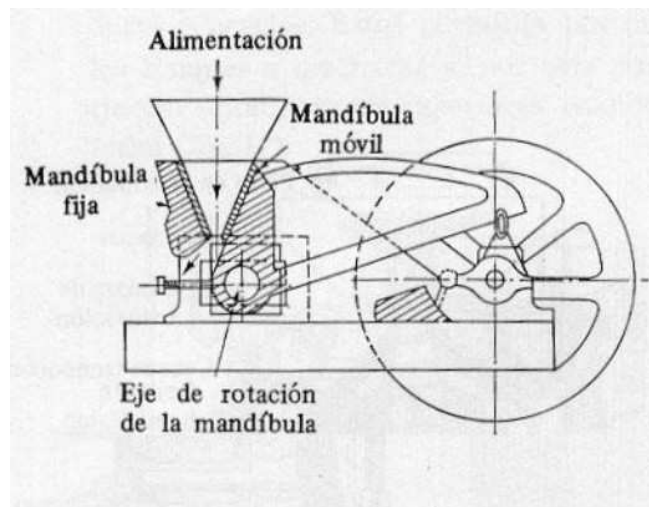


Ilustración 2.2 – Machacadora tipo Dodge

base de la mandíbula móvil. Por lo tanto la carrera es máxima a la entrada y va disminuyendo a medida que el material desciende. De esta manera pueden adoptarse reglajes muy finos.

Son machacadoras con el inconveniente de su tendencia al atasco y su alto consumo de energía. Sin embargo, su relación de reducción puede ir de 10 a 1. Actualmente están en desuso aunque se usa todavía algún modelo en laboratorios.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.3.2 TIPO BLAKE O DE DOBLE EFECTO

Las machacadoras de tipo Blake, también llamadas erróneamente de doble efecto por una mala traducción del inglés (double toggle = articulación doble) se caracterizan por ser de simple efecto al tener lugar en ellas únicamente fenómenos de compresión. Están formadas por una mandíbula fija y una móvil apoyada esta última en un balancín articulado en su parte superior. La mandíbula móvil tiene un movimiento de vaivén sobre la mandíbula fija tanto más acusado a medida que se desciende al extremo inferior de la mandíbula móvil.

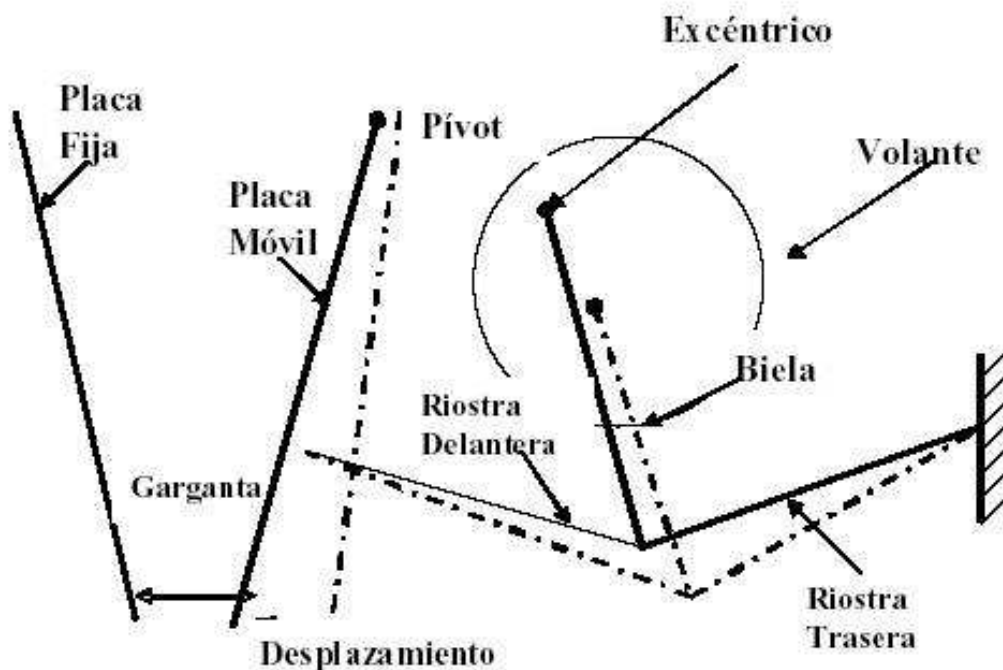


Ilustración 2.3 – Representación esquemática de la machacadora Blake

Este tipo de machacadoras al tener dos placas de articulación son alrededor de entre un 20 y un 30% más pesada que la de simple efecto y, por lo tanto, más caras. Sin embargo, el desgaste es menor en los blindajes de las mandíbulas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Se diferencian de las de simple efecto en que la producción es menor, el sentido de giro de la excéntrica es indiferente y el riesgo de apelmazamiento de la cámara de trituración es mayor.

No son muy utilizadas dado el campo limitado que tienen y se emplean únicamente cuando el material a triturar es extra-duro y muy abrasivo. Nunca se utiliza en el caso de materiales plásticos.

2.3.3 MACHACADORA DE MANDÍBULAS DE SIMPLE EFECTO

Básicamente son equipos formados por un bastidor y que contiene dos mandíbulas, una frente a la otra en forma de V, una mandíbula es fija, la otra móvil animada por un eje horizontal excéntrico.

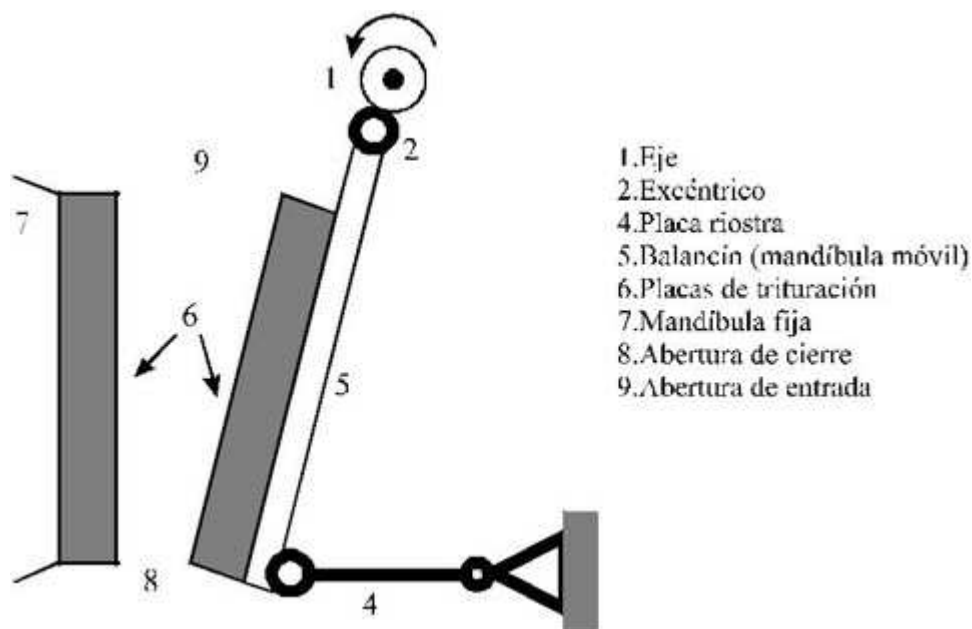


Ilustración 2.4 – Representación esquemática de una machacadora de mandíbulas de simple efecto

El material se fragmenta por compresión al acercarse las mandíbulas y al separarse estas, va descendiendo por gravedad hasta la salida por la abertura inferior.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Las machacadoras de simple efecto son con diferencias las más utilizadas, dados que en comparación con una machacadora de doble efecto tienen menor precio, menor peso, menor tiempo de amortización, menor riesgo de apelmazamiento en la cámara de trituración, mayor producción, menor número de averías, menor consumo de material antidesgaste, etc.

Se puede decir que una machacadora de simple efecto consigue lo mismo que una de doble efecto pero con una inversión inicial más baja y con costo por tonelada tratada también más bajo.

Como dato, destacar que hace más de una década que ningún fabricante de prestigio lanza al mercado una machacadora de mandíbulas de doble efecto o tipo Blake.

El término “simple efecto” viene de una mala traducción del término anglosajón “single toggle” que significa articulación única, es más, el efecto de trituración de estas máquinas es triple, debido a los fenómenos de



Ilustración 2.5 – Machacadora de mandíbulas de simple efecto

compresión, atricción y cizallamiento y en segundo orden la fricción entre las rocas y entre ellas y los revestimientos de las mandíbulas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

En estos equipos, la zona superior de la mandíbula móvil describe un círculo de radio igual a la excéntrica del eje, al descender por la mandíbula el movimiento va pasando de circular a elíptico, por esto en la parte superior predominan los efectos de compresión y en la parte inferior aumentan los efectos de fricción o cizallamiento, debido a estos esfuerzos se formarán triturados con forma lajosa en la parte inferior de la cámara de trituración.

La alimentación en las machacadoras de mandíbulas de simple efecto es muy importante, sobre todo si hablamos de regularidad en el suministro para que el proceso de trabajo y el producto obtenido sea el óptimo.

La regularidad se consigue con la colocación de una tolva y un alimentador previo a la machacadora, haciendo la alimentación constante e independiente de los ciclos de descarga de los dumperes.

2.3.4 MACHACADORA DE MANDÍBULAS DE CÁMARA DE TRABAJO HORIZONTAL

Las más conocidas son fabricadas por la firma DBT Mineral Processing y se caracterizan por el precalibrado de los materiales que pasan sobre el transportador horizontal de fondo blindado, generalmente de tipo racletas. El sistema está dispuesto básicamente sobre un plano horizontal sin ningún cambio en la dirección del flujo del material y permite la recogida inmediatamente después de su extracción, su trituración y su posible evacuación mediante bandas transportadoras.

El transportador blindado transporta el material hasta la machacadora de mandíbulas de cámara de trabajo horizontal que efectúa la trituración sobre el

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

propio transportador para evacuarse posteriormente sobre transportadores de banda.

La machacadora está formada por una mandíbula fija y otra móvil accionada por un motor eléctrico con transmisión por correas, acoplamiento contra sobrecargas y un volante de inercia. La disposición de la mandíbula fija paralela a la dirección de transporte reduce el desgaste y favorece el flujo de materiales.

Estas machacadoras se utilizan con materiales relativamente friables o semiduros y ocasionalmente con materiales duros con riesgo de ruptura del transportador blindado que desplaza los materiales hasta la machacadora. De esta manera, cuando el peso del transportador está por encima de los valores y la velocidad el tambor por debajo de su valor preseleccionado, el equipo se para gracias a un sistema programable. En el caso de que el accionamiento del transportador exceda una determinada corriente límite, este sistema invierte el sentido de la marcha con objeto de evitar bloqueos en la cámara de machaqueo.

Estos equipos se utilizan para el machaqueo en el frente de cantera con el fin de transportar el material triturado con cinta hasta la planta de tratamiento, en minas subterráneas con machaqueo cercano al frente y en el machaqueo de escombros de demolición y de hormigón armado.

En minería son muy utilizados para calizas, yesos, sales potásicas, carbón y minería metálica.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.4 PARTES DE UNA MACHACADORA DE MANDÍBULAS

Actualmente se fabrican machacadoras de mandíbulas entre 6 y 150 toneladas, pero el tamaño de estos equipos viene determinado por la dimensión de la boca de entrada del material, que son las dimensiones de la parte superior de la cámara de trituración. Las medidas de la boca de alimentación no son las del tamaño máximo de bolos que pueden entrar, que será un 15 o un 20% menor para evitar atascos por sobretamaños.

Las bocas más grandes son de 2150 x 1600 mm y las más pequeñas de 630 x 440 mm siendo una medida estandarizada de uso corriente 1600 x 1200. La dimensión de salida varía mucho entre fabricantes.

A continuación se describen las principales partes de una machacadora de mandíbulas de simple efecto.

2.4.1 CARCASA O BASTIDOR

Este elemento debe soportar las importantes vibraciones generadas por el motor, el movimiento de las mandíbulas y el desgaste que provocan los volantes en los materiales que los soportan además del peso y esfuerzo que provocan las mandíbulas.

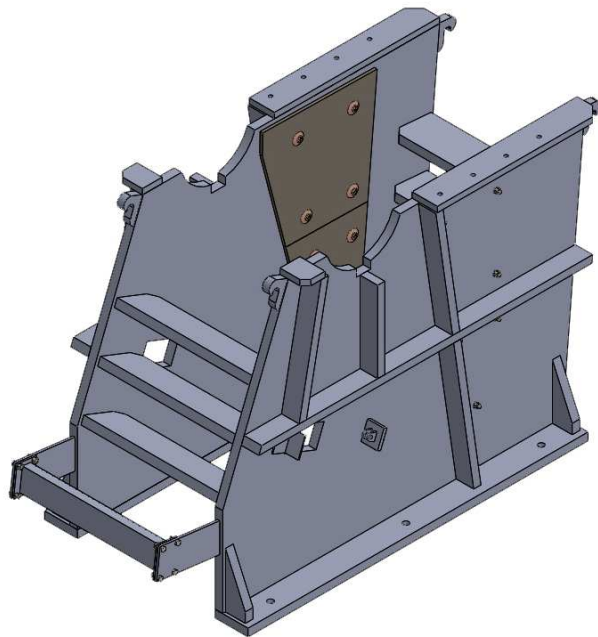


Ilustración 2.6 – Bastidor de una machacadora de mandíbulas

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Son necesarios estudios complejos para que el diseño, construcción y materiales aguanten durante años.

Generalmente los bastidores son de hierro fundido, pero la tendencia es de utilizar una combinación de piezas modulares de chapa laminada de alta calidad, siempre con nervios de refuerzo para dar más consistencia al bastidor.

Actualmente con el empleo de medidores de tensiones se analizan los esfuerzos reales y analizando estos datos se puede reforzar la resistencia en ciertas zonas de la carcasa y disminuirla en aquellas en la que los esfuerzos son de menor intensidad, consiguiendo unidades más ligeras con la misma resistencia.

2.4.2 CAMARA DE TRITURACION

Es la zona comprendida entre los revestimientos de las mandíbulas y las placas antidesgaste que forran la carcasa.

En esta cámara se dan lugar todos los procesos que dan lugar a la trituración del todo-uno procedente del frente de cantera.



Ilustración 2.7 – Cámara de trituración

La cámara de trituración tiene una disposición en V formada por el ángulo entre mandíbulas, que suele ser de 22° a 27° dependiendo de la longitud entre mandíbulas. El ángulo entre las mandíbulas condiciona el tamaño

máximo de la alimentación para un mismo tamaño de boca, cuanto más

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

reducido es el ángulo mayor es la longitud de las mandíbulas y mayor el tamaño de alimentación. Esto hay que tenerlo muy en cuenta a la hora de adquirir un equipo, una mayor longitud exige un mayor peso y por tanto mayor precio, aunque también hay que tener en cuenta que se gana superficie de machaqueo.

El material entra por la boca de alimentación y sale por la boca de descarga. La boca de descarga se abre o se cierra en función del tamaño final que se desee, teniendo en cuenta que cuanto menor sea el tamaño de salida, menor será la producción.

La regulación de la boca se ajusta cambiando las placas o barras de reglaje, actuando sobre el sinfín o la regulación por actuación de cuñas hidráulicas.

2.4.3 REVESTIMIENTOS

Son las piezas de material antidesgaste que forman las mandíbulas. Tienen forma dentada vertical para que el material descienda por la cámara de trituración.

Generalmente los revestimientos son de una pieza por mandíbula, salvo en las



Ilustración 2.8 – Revestimiento de una de las placas

machacadoras más grandes que montan dos piezas por mandíbula.

El desgaste de estas piezas es irregular, siendo mayor en la

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

parte inferior, por lo que son reversibles, alargando la vida útil de los revestimientos.

En los laterales de la cámara de trituración se colocan otros aceros más resistentes al roce, ya que aquí no hay esfuerzos de compresión, estos revestimientos son lisos y su desgaste es mucho menor que en los revestimientos de las mandíbulas.

El desgaste de los revestimientos de las mandíbulas surge como consecuencia de la abrasión por roce, abrasión por presión debido al movimiento de compresión en el cierre de las mandíbulas y abrasión por erosión.

En la abrasión por roce, si el material abrasivo es más duro que el acero, este penetra en la superficie y al desplazarse provoca el levantamiento de viruta de la placa de acero. La dificultad para que esto ocurra depende de la carga de rotura del acero.

La abrasión por presión se da en menor medida y tiene lugar cuando un material es situado entre dos superficies de acero que son aproximadas con una fuerza muy grande, desplazándose únicamente en dirección perpendicular a sus puntos de tangencia con respecto de cada mandíbula. Si el material abrasivo es más duro que el acero, penetrará en este último del cual se desprenderán partículas de acero produciendo el desgaste.

Si el abrasivo es más blando, por imposibilidad de espacio físico se producirá una deformación en la superficie del acero, permanente o no, en consecuencia habrá esfuerzos de fatiga que generaran grietas y desprendimientos de partículas de acero. Por tanto en la abrasión por presión, además de la dureza

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

del acero interviene la capacidad del mismo de soportar esfuerzos repetidos sin agrietarse.

La abrasión por erosión se da principalmente en los molinos impactores, en ellos las placas de impactos que son las que reciben la partícula abrasiva a gran velocidad se producen unos esfuerzos locales e instantáneos que pueden llegar a ser considerables, arrancándose por el impacto partículas de acero, pero siempre antes de que el esfuerzo se haya transmitido a las partículas de acero contiguas. Así los factores en la resistencia del acero son la dureza, la resistencia a la tracción, la cohesión y la capacidad para transmitir una deformación local a las partículas contiguas.

Al ser equipos primarios, las machacadoras de mandíbulas reciben bolos con pesos muy elevados, lo que hace que se encuentren sometidas a grandes esfuerzos mecánicos, por eso es necesario montar aceros dúctiles y tenaces. Se recomiendan aceros austeníticos al manganeso con durezas entre 180-280 HB en su estado de suministro, al trabajar la austenita se transformará en martensita variando su dureza.

Si el material tratado es muy abrasivo, se incrementa la proporción de cromo, perdiendo tenacidad y pasando a un acero más frágil, pero se combate mejor la abrasividad de la roca.

Los aceros utilizados en los elementos antidesgaste dependen del material que se quiera triturar.

Unos productos de fundición típica para una machacadora de mandíbula pueden ser los siguientes:

12-14% de manganeso

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

12-14% de manganeso + cromo

12-14% de manganeso + cromo + molibdeno

16-18% de manganeso + cromo

Dependiendo del tipo de roca a machacar estos revestimientos tendrán diferentes morfologías.

- La morfología en forma de picos coincidentes de los valles de los revestimientos de las mandíbulas con las crestas de los revestimientos de la otra mandíbula, igual que las muelas de la boca, se utilizan para materiales de dureza media, con un ángulo de 90° y con una relación altura de los picos/ancho de los picos de 2 o 3.
- La misma morfología anteriormente descrita pero con dientes ondulados se utiliza para materiales duros.
- En caso de ser necesaria la trituración de materiales de gran tamaño y duros se utilizan morfologías con una relación altura de los picos/ancho de los mismos entre 4 y 5.
- Para materiales con dureza extremadamente alta, donde los procesos de machaqueo pueden generar esfuerzos laterales nocivos a los ejes, se utilizan revestimientos lisos.

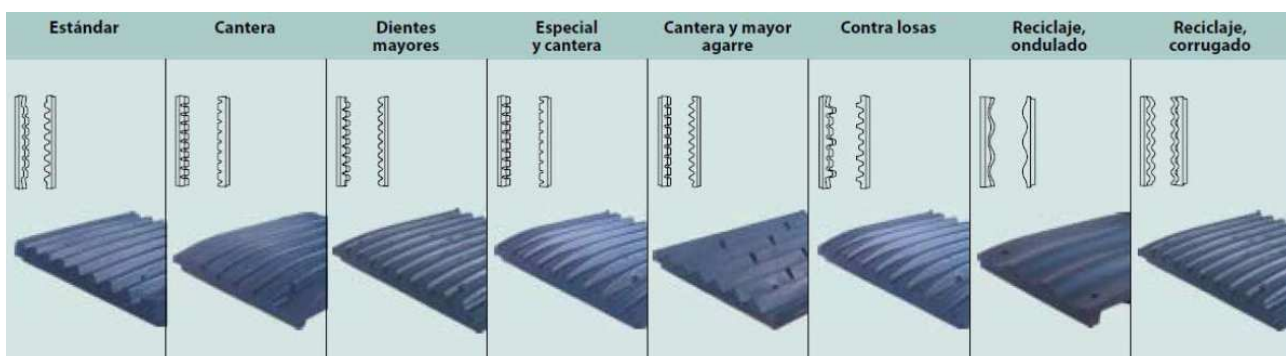


Ilustración 2.9 – Diferentes tipos de revestimientos

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

- Para conseguir una granulometría más uniforme se utilizan revestimientos abovedados en la mandíbula móvil. Esto favorece un paso de salida más largo. No obstante, este tipo de revestimientos hoy en día está prácticamente en desuso.

Los revestimientos se colocan sobre la mandíbula fija y sobre la mandíbula móvil y estas a su vez están sujetas a la carcasa o bastidor mediante los tirantes de fijación en la parte inferior y mediante muelles, arandelas o un cojín neumático en la parte superior.

2.4.4 SISTEMA DE ACCIONAMIENTO

Las machacadoras de mandíbulas actúan a través de un sistema excéntrico, en cada revolución se produce la acción de rotura de las rocas y el descenso de estas por la cámara de trituración.

La fuerza inercial para realizar los procesos de compresión se transmite a través de unos volantes de acero fundido. Los propios volantes y el sistema de accionamiento son intercambiables.

La misión de los volantes es la de conservar la fuerza inercial uniforme para mantener la producción continua y reducir los picos de fuerza en la transmisión y el motor, van montados sobre un eje fabricado en acero formado que mueve al conjunto del portamandíbulas, a su vez, dicho conjunto va articulado mediante una placa entre él y un punto fijo.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

La placa de articulación, en función de su longitud, ángulo y punto de articulación en la mandíbula móvil, va a condicionar la trayectoria que describe la mandíbula.

El sistema excéntrico se encuentra sobre unos rodamientos autoalineables y protegidos con un sistema de laberintos para evitar la entrada de polvo y suciedad.

El accionamiento se realiza por transmisión por correas trapezoidales a partir de un motor eléctrico directamente sobre la llanta de uno de los volantes. La potencia necesaria para el arranque corresponde a la energía cinética a acumular en los volantes, más las resistencias pasivas debido a la propia machacadora, al motor y a la transmisión.

Las machacadoras siempre paran en la misma posición, llamada posición de reposo y corresponde aproximadamente a 15° hacia adelante del punto muerto superior. Esto se debe al diseño del eje excéntrico, que sumado a la gravedad, siempre terminará parado en la parte más baja. Al ser excéntricos los volantes,

muchos fabricantes añaden un pequeño peso excéntrico.



Ilustración 2.10 – Sistema de accionamiento

2.5 COMPARACIÓN ENTRE LAS MACHACADORAS DE MANDÍBULAS DE SIMPLE Y DOBLE EFECTO

Aunque ya han sido mencionadas, en este apartado se van a matizar y a exponer otros nuevos aspectos.

- La machacadora de simple efecto frente a la de doble efecto se beneficia de una menor cantidad de peso (entre el 20 y 30%), de una mayor simplicidad de ejecución y de un mejor precio.
- Con la utilización de un eje de accionamiento y palieres ampliamente dimensionados, la machacadora de simple efecto puede absorber esfuerzos comparables a lo de la de doble efecto.
- En las mismas condiciones de trabajo, la machacadora de simple efecto tiene un desgaste de las mandíbulas más rápido que el de la machacadora de doble efecto. El desgaste de la mandíbula móvil y se han podido establecer la relación 2:1.
- Las fricciones provocadas por el movimiento elíptico generan una mejora del coeficiente de forma de los fragmentos. La machacadora de simple efecto será una mejor granuladora pese a la baja capacidad y al elevado desgaste de las mandíbulas cuando la piedra es abrasiva.
- En machacadoras con abertura de salida variable entre 80 mm y 150 mm o más, la diferencia de fragmentación con las machacadoras de doble efecto es mucho menos marcada.
- Respecto a la capacidad de producción se puede decir que las machacadoras de simple efecto tienen una capacidad máxima de

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

producción entre el 25% y el 27% con respecto a una machacadora de doble efecto con las mismas características de funcionamiento.

- El costo de la machacadora de doble efecto puede, con las mismas condiciones de trabajo llegar a ser 1.25 veces superior el costo de la machacadora de simple efecto de iguales condiciones.
- En los casos en los cuales el ritmo de desgaste de 8 cambios entre 1 a 3 años, o sea duración de los revestimientos de la mandíbulas de 1 a 24 semanas, es conveniente usar una machacadora de doble efecto. Si el cambio es de 1 ó 2 veces por año la elección está muy equilibrada imponiéndose las de simple efecto. Para duraciones de mandíbulas superiores a 1 año a la utilización de machacadoras de simple efecto es indudable.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.6 MACHACADORAS DE MANDÍBULAS COMO EQUIPO PRIMARIO

Debido a la concepción robusta y a las dimensiones de la boca de alimentación, la machacadora de mandíbulas es un equipo para actuar como triturador primario.

Su estructura permite recibir bolos procedentes del todo-uno, cuyas dimensiones dependerán de la cuadrícula de la voladura de la explotación.

Sus producciones varían desde 1500 t/h hasta algunos cientos de t/h, existen gran variedad de estos equipos en función a su producción y dimensión.

El empleo de machacadoras de mandíbulas como primario es innegable, aunque se pueden utilizar otros equipos como primario, dependiendo del tipo de material, tamaño de este, etc.

Se podrá elegir otro tipo de triturador como un triturador de cono, un molino impactor, pero lo que es inapelable es que si se utiliza una machacadora de mandíbulas, se hará en posición primaria de la planta de trituración, no siendo recomendable su uso en etapas posteriores.

Existen aunque en desuso los gravilladores, que son machacadoras de mandíbulas con dimensiones de boca muy dispares, por ejemplo 1250 x 500 mm y que producen menor cantidad de lajas que una machacadora de mandíbulas convencional, pero estos resultados no son comparables a los de otros equipos como un cono o un impactor. Tiempo atrás fueron utilizados como secundarios, pero en la actualidad no se utilizan.

Existen unas machacadoras de mandíbulas de pequeño tamaño para laboratorio que sirven para reducir áridos, testigos y materiales similares con accionamiento eléctrico.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

La boca de admisión suele ser de 100 x 60 mm con un producto de salida regulable de 5 a 15 mm y una producción de 100 a 400 kg/h.

Existió una machacadora de mandíbulas fabricada en España que tenía 2 cámaras de trituración, las dos mandíbulas móviles son accionadas por el mismo eje y con los mismos volantes.

2.7 FACTORES QUE CONDICIONAN LA ELECCION DE UNA MACHACADORA DE MANDIBULAS COMO EQUIPO PRIMARIO

La elección de un equipo de trituración se vuelve más complicada cuanto más avanzado sea el puesto en la cadena de la planta de trituración, para elegir un primario se debe prestar atención a las machacadoras de mandíbulas, molinos de impactores y de cilindros. Los giratorios también serían adecuados como primarios, pero para producciones mayores a 600 t/h, por lo que en España no se utilizan a no existir canteras con tal producción.

Dos de los factores más importantes son la resistencia a la compresión y la abrasividad.

2.7.1 ESTUDIO DE CASO PARA UNA EXPLOTACIÓN DE CALIZAS

En la empresa Explotación de Canteras del Noroeste, S.A. destacan dos concesiones mineras, una es la cantera Estefanía Vilameix-Baralla, que se utilizará en este ejemplo para explicar cómo una machacadora de mandíbulas se elige como equipo primario junto a la explotación conocida como Monte do Forno.

Esta última se trata de una cantera a cielo abierto en el que se reconocen tres niveles de caliza gris. El más alto tiene unos 25 metros de potencia y se trata a de una caliza gris claro, a veces tableada y algo margosa; hacia muro se presenta en bancos masivos con laminaciones milimétricas muy recrystalizadas. Esta recrystalización es muy intensa y orientada en el sentido de la esquistosidad regional, originado mármoles de gran dureza. Un segundo nivel se sitúa por debajo. Tiene unos 20 m de espesor, tiene igualmente color gris

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

claro y es caliza micrítica. También recristalizada, donde no se pueden reconocer estructuras sedimentarias. Un tercer nivel de caliza, de color gris oscuro y de otros 16 m de espesor, se sitúa en la base de la formación. Tiene laminaciones esquistosas y también se puede considerar como mármol por su elevado grado de diagénesis y metamorfismo de presión.

Entre los niveles o tramos de caliza hay al menos cinco episodios esquistosos de color gris, que están en mayor o menor grado carbonatados, pero que sin duda tiene predominio silíceo con un gran desarrollo de la esquistosidad.

En cuanto a la petrología de las calizas se puede decir que tiene calcita y cuarzo como componentes principales, con un tamaño de cristal micrítico (0.08 mm) a esparítico (0.2 a 1 mm) muy recristalizado, hasta convertirse en mármol. Los esquistos están formados por láminas de sericita, moscovita y cuarzo paralelos a la esquistosidad, moscovita y cuarzo paralelos a la esquistosidad. Los tamaños de cristal son de 0.05 mm a 0.08 mm en textura lepidoblástica. Casi siempre estos esquistos llevan láminas de carbonato intercaladas.

En esta primera explotación se encuentra trabajando un molino impactor primario IM-14Larón y siempre se ha utilizado de primario un molino impactor de eje horizontal en los más de 30 años que permanece activa la explotación. La caliza tiene los parámetros que se pueden esperar de una caliza Cámbrica con la característica de contener un 5% de sílice.

La cantera Estefanía Vilameixe-Baralla, es un ejemplo claro dónde queda demostrada la utilización de una machacadora de mandíbulas en un puesto primario frente a los impactores. Se encuentra en la zona situada entre Vale-Vilameixe y Pol y se caracteriza por ser un área montañosa de acusado relieve

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

entre las cotas 500 y 800 metros. La zona corresponde al flanco sinclinal de Baralla que afecta a niveles del Cámbrico inferior y medio.

Unos de los niveles reconocibles en esta área es la Caliza de Vegadeo, que es la formación que actualmente se explota en esta cantera. Tiene un espesor variable en la zona llegando a alcanzar 300 m. Se suele dividir en tres tramos.

Tramo de techo superior: Calizas y calizas dolomíticas masivas de color gris y potentes bancos de aspecto masivo.

Tramo medio: Sucesión de niveles calizos bien estratificados con alguna intercalación de esquistos.

Tramo de muro: Son básicamente esquistos que pueden estar carbonatados con bancos de dolomía y eventualmente caliza.

Petrológicamente la roca corresponde a una caliza de tipo micrítico con incipiente recristalización. Se observan venas rellenas de una calcita posterior formadas por un mosaico granoblático recristalizado.

Debido a la experiencia de la dirección y de los técnicos de la empresa en cuanto a impactores como máquina primaria, en un primer momento se decide adquirir un nuevo molino impactor para esta explotación. Cosa lógica pues la caliza de la cantera Estefanía es similar a la caliza de Arcos. Además, por logística interna se decide que el grupo primario debe ser móvil autopropulsado. En un estudio más detallado se analiza la caliza y se observa que la abrasividad de la roca sube con respecto a la otra caliza casi un 15%.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Lo cual recomienda el uso como primario de una machacadora de mandíbulas, obviando la alternancia del impactor.

Finalmente se decide una machacadora Laron MS-35, sobre un grupo móvil Lautack autopropulsado de la misma casa comercial. Actualmente, el funcionamiento de la máquina es plenamente satisfactorio, permitiendo a la empresa seguir liderando la extracción de calizas en su provincia y la comercialización den las provincias colindantes.

2.7.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Cuando se plantea la trituración de una roca se debe conocer el valor de la resistencia a la compresión simple del material que se va a procesar.

Se considera un material muy duro aquel que tiene un valor de resistencia a la compresión simple entre 2.200 y 3.500 kg/cm² y es entre estos dos valores donde se puede determinar el límite en el cual una machacadora de mandíbulas deja de ser eficaz como equipo primario.

Centrándonos en las machacadoras de simple efecto, algunos fabricantes dejan de ofertar machacadoras de este tipo a partir de 2182 kg/cm², otros fabricantes llegan hasta los 3.000 kg/cm².

Hay que tener en cuenta que a medida que aumenta la resistencia a partir de los 2.500 kg/cm², se debe disminuir el plazo de amortización de la machacadora. El valor residual, no el contable, sino el real, también será distinto es una machacadora que ha trabajado con calizas de 1.200 kg/cm², que la machacadora habiendo trabajado con basaltos de 3.200 kg/cm² con rocas muy competentes, una opción es estudiar el rediseño de los trabajos de voladura para obtener una granulometría más pequeña procedente del frente de cantera, siempre teniendo en cuenta el aumento de costes en la voladura.

La trituración primaria se puede realizar con un molino impactor, aquí el ensayo de resistencia a la compresión simple no es tan importante y se deben estudiar otros factores como la abrasividad y la triturabilidad.

En ciertos casos con materiales de baja resistencia a la compresión simple en los que se podría pensar que el uso de un molino impactor sería lo adecuado, hay que tener en cuenta que con esto se aumenta la producción de finos en la

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

voladura, es más adecuado utilizar como primario una machacadora de mandíbulas.

Los molinos de rodillos están muy limitados en cuanto a la resistencia a la compresión, no siendo adecuados para rocas con más de 700 kg/cm² de resistencia, también la presencia de bolos y el pequeño tamaño de alimentación es un inconveniente para estos equipos.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.8 DINAMICA DE TRABAJO

Los áridos suelen tener rotura frágil y rompen casi sin deformación. También suelen tener gran resistencia a la compresión, todo lo contrario que a la tracción.

La energía que transmite la machacadora a la roca genera deformaciones en esta, parte de esas deformaciones se transforman en calor, ruido, etc.

El principio de trabajo es la compresión de las mandíbulas sobre los bloques de roca dando lugar a esfuerzos de cizalla, ya que las mandíbulas no son paralelas.

La deformación producida, crea esfuerzos internos de tracción en el bloque de roca que producen la rotura. Las deformaciones tectónicas, planos de debilidad por las voladuras, etc. ayudan a la rotura.

Muchos esfuerzos de compresión terminan produciendo simplemente ruido y calor, por tanto, hablamos de un sistema poco eficiente, característica de los equipos que utilizan la compresión como técnica de trituración.

Además de compresión estas máquinas crean esfuerzos de cizalla en las partículas de las rocas, esta cizalla facilita los fenómenos de atricción y abrasión, los cuales aumentan la ineficacia del proceso, elevando los costes de desgaste y materiales, sobre todo si se trabaja con granulometrías grandes.

La disponibilidad de estos equipos está en torno al 85% del tiempo de trabajo.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.9 ESTUDIO TEORICO

Las mandíbulas de las machacadoras ejercen presión a las rocas en la cámara de trituración, la fuerza de compresión hace que se sobrepase el límite elástico y plástico de las rocas y terminen rompiendo. Este proceso ocurre mientras las rocas están en la cámara de trituración y se repite cada ciclo en el cual las mandíbulas se aproximan, lo normal es de 15 a 300 veces por minuto, pero el rango de estos equipos se puede ampliar desde 50 a 750 veces por minuto.

La velocidad de oscilación óptima se encuentra unida a la amplitud de la carrera, siendo esta una función de la elasticidad relativa de los materiales a fragmentar.

El grado de reducción de una machacadora de mandíbulas se obtiene de la dimensión máxima de la piedra de entrada a la machacadora y la dimensión máxima a la salida. Se expresa:

$$GR = \frac{\text{dimensión máxima a la entrada}}{\text{dimensión máxima a la salida}}$$

El grado de reducción total en una planta de machaqueo se puede obtener en una o varias etapas, como ejemplo, si el todo uno de una cantera tiene un tamaño aproximado de un metro y se quieren obtener arenas, son necesarias entre 3 y 4 etapas de trituración.

2.9.1 COEFICIENTE DE FORMA Y CUBICIDAD

Algo a veces más importante que el grado de reducción en un equipo de trituración es el coeficiente de forma (CF) de las partículas del árido. Este coeficiente indica numéricamente la uniformidad de sus dimensiones máximas

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

y se expresa como la relación entre el volumen de un grano y el volumen de la esfera circunscrita a este grano. Los valores de referencia más usados para este coeficiente son:

- $CF = 1 \rightarrow$ Granos esféricos
- $CF = 0.36 \rightarrow$ Granos cúbicos perfectos
- $CF < 0.36 \rightarrow$ Granos más o menos lajosos

Debido a las diferencias de movimiento de la parte superior e inferior de la mandíbula que generan esfuerzos diferentes, se producen piedras con dimensiones con grandes diferencias, es decir, materiales lajosos y aciculares. Las machacadoras de mandíbulas no son los equipos que más material lajoso producen, pero ni de lejos los que menos, aunque al ser un equipo primario y que el volumen de lajas no es muy elevado, provocan que el CF sea un factor que tampoco se tiene muy en cuenta en este tipo de triturador.

El CF se utiliza para la fabricación de hormigones y aglomerados asfálticos. Un mayor CF indica una menor superficie de los mismos y hará falta menos aglomerante para envolverlos. También al ser mayor el CF quedará menor espacio libre entre granos obteniendo mayor densidad y ahorro de aglomerante.

El propio ministerio de fomento u organismos como Adif poseen sus propios pliegos de condiciones técnicas para los áridos.

Se considera el árido de forma cúbica como el más indicado para muchos de los trabajos que hoy se realizan. En España y Europa el árido para capas de rodadura, el balasto para vías férreas y la gravilla son algunos ejemplos donde prima a máxima capacidad de la roca.

2.9.2 COEFICIENTE DE FORMA COMO CONSECUENCIA DE LOS EQUIPOS

La cubicidad de un árido es de suma importancia en muchas de sus aplicaciones y se determina fundamentalmente como son el tipo de roca y el tipo de máquina que trata esta roca, máquina que intrínsecamente tendrá un grado de reducción (4:1 en las machacadoras). La forma varía dependiendo del tamaño de la partícula original (antes de entrar en la cámara de la machacadora), en relación a la regulación de la machacadora y al tamaño medio de los productos de la machacadora. Se considera que las rocas que produce una machacadora son más regulares cuanto más cercanas están al tamaño de regulación (al cierre de la machacadora), y las formas más lajosas o aciculares se producen en los tamaños mayores y menores a la regulación. En una machacadora cuyo cierre sea 150 mm, el 75% del pasante será inferior a 150 mm, y el otro 25% está comprendido entre 150 y 300 mm. Sería en los tamaños 40-100 y 200-300 mm donde esté el mayor número de lajas. Este fenómeno se produce también en los trituradores de cono.

La formación de lajas no se debe sólo al tipo de máquina. En máquinas como las machacadoras que tienden a crear áridos cuya cubicidad está mermada por las lajas, se deberá estudiar el frente de explotación para que estas lajas no se vean magnificadas por alguna familia de diaclasas que genere una roca con longitudes tres veces mayores que los espesores. Las machacadoras de mandíbulas suelen romper la roca por planos de fractura preferentes o de debilidad intrínsecos de la propia roca, ya que al actuar por compresión, solo tiene control sobre una dimensión de la roca. La cubicidad se calcula midiendo

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

la longitud L y el grosor o espesor E de cada una de las partículas de la muestra. Las partículas cuya relación sea $L/E > 3$ serán clasificadas como no cúbicas. El coeficiente de forma será el resultado de dividir la masa de las partículas no cúbicas entre la masa total de la muestra de ensayo. El resultado se multiplica por cien y se ajusta al número entero más próximo.

Aclarado lo anterior, el máximo cierre de una machacadora será $1/8$ de la anchura de su boca (esto es el eje menor y suponiendo que están compensados el eje mayor y el menor, cosa que no ocurre en algunos grupos móviles), y que se debe tener en cuenta que cerrar la machacadora al límite produce averías, y además, al aumentar el ángulo entre las dos mandíbulas, aumenta el efecto de cizalla, con lo que ello supone (incremento de lajas), pudiendo incluso proyectar verticalmente grandes partículas. Todo esto provoca una disminución en la producción de estas máquinas.

2.9.3 COEFICIENTE DE FORMA COMO CONSECUENCIA DE LA NATURALEZA DE LAS ROCAS

La formación de lajas no se debe sólo al tipo de máquina. En máquinas como las machacadoras que tienden a crear áridos cuya cubricidad está mermada por las lajas, se deberá estudiar el frente de explotación para que estas lajas no se vean magnificadas por alguna familia de diaclasas que genere una roca con longitudes tres veces mayores que los espesores. Las machacadoras de mandíbulas suelen romper la roca por planos de fractura preferente o de debilidad intrínsecos de la propia roca, ya que al actuar por compresión, solo tiene control sobre una dimensión de la roca.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

El máximo cierre de una machacadora será $1/8$ de la anchura de su boca (esto es el eje menor y suponiendo que están compensados el eje mayor y el menor, cosa que no ocurre en algunos grupos móviles), y que se debe tener en cuenta que cerrar la machacadora al límite produce averías, y además, al aumentar el ángulo entre las dos mandíbulas, aumenta el efecto de cizalla, con lo que ello supone (incremento de lajas), pudiendo incluso proyectar verticalmente grandes partículas. Todo esto provoca una disminución en la producción de estas máquinas.

2.9.4 FORMULA BASICA

La bajada de materiales desde la entrada a la salida de las mandíbulas es provocada únicamente por la gravedad, actuando durante el movimiento de retroceso de la mandíbula móvil, lo que condiciona la capacidad de producción de la machacadora.

Con mandíbulas rectilíneas el volumen liberado en cada carrera varía desde la entrada hasta la salida, con un mínimo en las propiedades de ésta. Por lo tanto, es el volumen del prisma de la zona inferior el que limita las posibilidades de producción.

Hersam dice que el volumen del material expulsado en cada movimiento de la mandíbula móvil corresponde al prisma $bb'cc'$ cuya altura h representa la caída recorrida en caída libre por un fragmento de material de la capa bb' , durante el tiempo de retroceso de la mandíbula móvil.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Expresado mediante una fórmula quedaría:

$$Q = 30 \frac{T^2 + 2ST}{G - S} \cdot n \cdot W \cdot D \cdot \delta \cdot k$$

Dónde:

Q – producción horaria en toneladas métricas

R – ancho de la mandíbula

S – revoluciones al minuto

n – densidad aparente del material a la salida de la machacadora

Q - se obtiene en toneladas métricas si D,G,S,T y W se expresan en metros

k – es un coeficiente de rendimiento que Hersam propone establecer un valor medio de 0.75 que según las circunstancias puede variar entre 0.5 y 1.

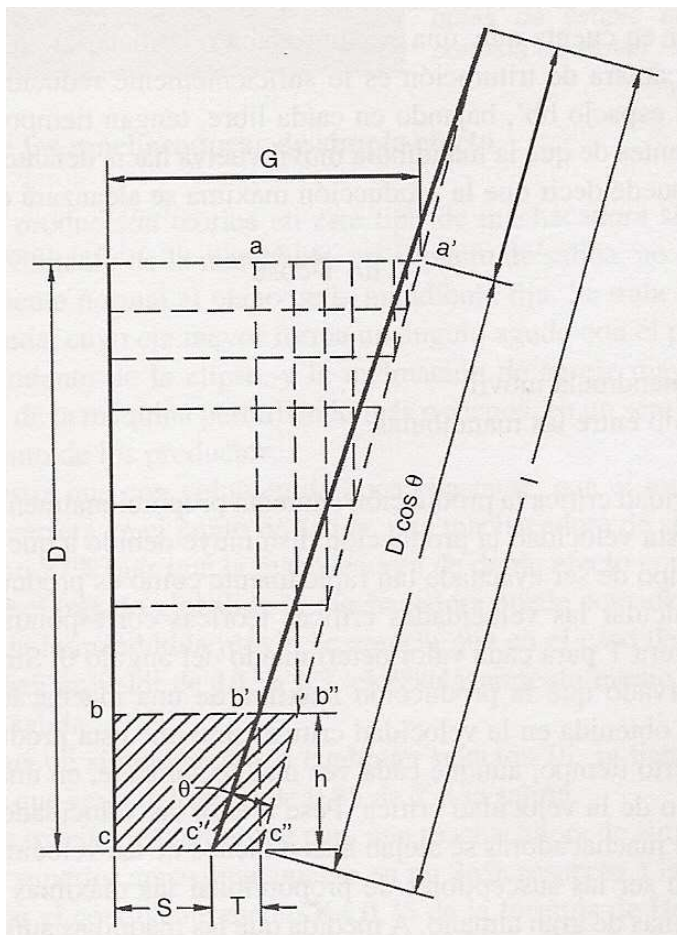


Ilustración 2.11 – Esquema de deslizamiento del material

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Las características físicas del material a machacar pueden influir sobre la velocidad de aplastamiento y de deslizamiento en las mandíbulas: los factores de homogeneidad, coeficiente de elasticidad y peso específico forman lo que se llama el coeficiente de triturabilidad.

De esta forma, Hersam ha comprobado en cálculos experimentales de su fórmula que el coeficiente de rendimiento k puede variar 0.72 para una roca compacta a 0.84 para una roca elástica como el cuarzo, pasando por un valor medio de 0.76 para el granito.

2.9.5 VELOCIDAD DE ATAQUE

El material al descender por la cámara de trituración presenta fricciones internas y fricciones contra las mandíbulas que actúan sobre la velocidad de deslizamiento del material, debido a que la velocidad es inversamente proporcional a las fricciones que frenan el descenso de los materiales, y sobre el ángulo de admisión que condiciona el ángulo máximo admisible entre las mandíbulas. En el primer caso las fricciones son perjudiciales y en el segundo los fenómenos de fricción son útiles ya que son fricciones nulas.

Hay que tener en cuenta que, una vez introducido el material en la boca, la velocidad de caída por la cámara de trituración es lo suficientemente reducida como para que los fragmentos en el espacio bb' , bajando en caída libre, tengan tiempo para recorrer la distancia vertical h antes de que la mandíbula móvil vuelva hacia delante y la abertura de salida se cierre. Se puede decir que la producción máxima se alcanzará cuando:

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

$$h = T \cdot \cos\theta$$

dónde:

T – carrera de la mandíbula móvil

Θ – valor del ángulo entre las mandíbulas

Hasta la velocidad crítica la producción aumenta proporcionalmente al número de vueltas. A partir de esta velocidad la producción disminuye debido a que la materia machacada no tendrá tiempo de ser evacuada tan rápidamente como es producida.

Se pueden calcular las velocidades críticas teóricas correspondientes a los distintos valores de carrera T para cada valor determinado el ángulo θ . Sin embargo, en la realidad se ha observado que la producción máxima de una machacadora no corresponde exactamente a la obtenida en la velocidad crítica, sino que esta producción sigue aumentando durante cierto tiempo, aunque cada vez más lentamente, en una zona situada inmediatamente debajo de la velocidad crítica. Pese a ello, las velocidades recomendadas por los fabricantes de machacadoras se alejan más o menos de las velocidades críticas que, sin embargo, parecen ser las susceptibles de proporcionar las máximas producciones, sobre todo en las máquinas de gran tamaño. A medida que las máquinas aumentan de tamaño sus velocidades se alejan más de las velocidades críticas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.9.6 CALCULO DE LAS MACHACADORAS DE SIMPLE EFECTO

Los cálculos de producción teórica en este tipo de machacadora se complican por el hecho de que el movimiento de la mandíbula, en el punto de salida, no es un movimiento de vaivén sensiblemente normal al plano de la mandíbula fija. Se trata de una trayectoria elíptica, muy aplastada cuyo eje mayor forma un ángulo agudo con el plano de la mandíbula fija. El aplanamiento de la elipse, y la inclinación de su eje mayor pueden variar según la cinemática de la máquina perturbando más o menos, en un sentido u otro, la velocidad de deslizamiento de los productos.

A. Joisel (6) demuestra que con volumen de boca constante, con el mismo reglaje, igual velocidad y misma carrera en el punto de salida, una machacadora de simple efecto debería poder producir un 27% más que la machacadora de doble efecto correspondiente.

Si se admite que el trabajo global de la machacadora puede considerarse proporcional al desplazamiento de la mandíbula móvil, se aprecia que en el caso de una machacadora de doble efecto y para un valor de $1/L=1:3$, el desplazamiento medio será igual a 0.666 de la carrera T a la salida.

En el caso de una de simple efecto, a cualquier relación l/i , se tiene un valor de desplazamiento medio que sería del orden de 0.85 de T a la salida.

Por consiguiente, puede deducirse que para una machacadora de simple efecto la capacidad de trabajo es superior aproximadamente en un 26% respecto a la de doble efecto y vendría a reemplazar el coeficiente medio $K=0.75$ de la fórmula de Hersam por un valor de $K=0.95$.

2.10 TIPOS DE FUERZAS Y ROTURAS

En este apartado se describen las fuerzas que se dan en los trituradores, en función de los equipos y su modo de trabajo, la reducción puede ser por compresión, cuando el material es aprisionado entre dos superficies que se cierran, como las machacadoras de mandíbulas, trituradores de cono y molinos de cilindros; impacto o percusión, cuando el material es golpeado y proyectado contra otra superficie, como es el caso de los molinos impactores y de martillos; y abrasión o atricción, en los cuales la reducción se produce por erosión, como ocurre en los equipos utilizados en la molienda: molinos de bolas, molinos de barras, autógenos y semiautógenos.

Siempre hay que tener en cuenta que ningún equipo de trituración y/o molienda trabaja como un único tipo de fuerza: prácticamente todos trabajan simultáneamente, aunque nunca en la misma intensidad, siempre habrá una fuerza predominante.

A groso modo se puede decir que los equipos donde predomina la compresión tienen la capacidad de trabajar con materiales más duros, generando fragmentos más lajosos. Por el contrario, los molinos impactores consiguen formas más cúbicas y general mayor cantidad de finos.

En muchos equipos aparecen unas fuerzas secundarias de cizallamiento pero que van a ser muy decisivas a la hora de definir la forma de la roca fragmentada, cuanto mayor sean estas fuerzas, mayor será la formación de lascas. Estas fuerzas aparecen cuando hay una compresión entre 2 superficies no paralelas, muy importante en las machacadoras de mandíbulas, trituradores de cono y molinos de cilindros.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

El equipo que mayor cantidad de lascas produce es el triturador de cono y la formación de estas varía en función del llenado de la cámara de trituración, la formación de lascas disminuye al trabajar con la cámara de trituración llena.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.11 ALIMENTACION Y EVACUACION

El aspecto más importante en un proceso de machaqueo es la regularidad en la alimentación. Esto se consigue gracias a la utilización de un alimentador mecánico que puede ser de carro de vaivén, de bandeja vibrante o de tablero metálico que en muchos casos están equipados con regulador de velocidad y que permite una velocidad de alimentación variable.

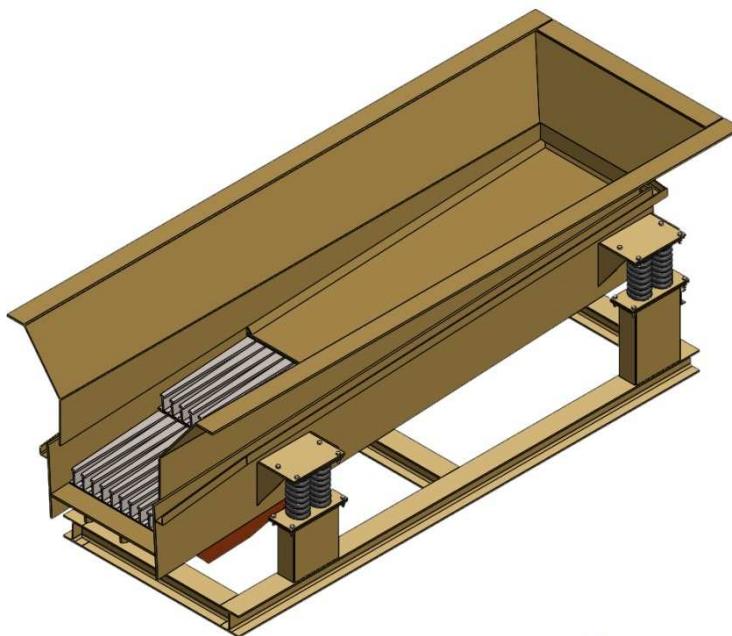


Ilustración 2.11 – Alimentador con salida de finos para una machacadora de mandíbulas

Este tipo de aparatos evita una serie de peligros como son los problemas de atascamientos en la boca de la machacadora por avalancha incontrolada de materiales, los problemas de formación de bóvedas y los

problemas de bloqueo por mala colocación de algún material demasiado grueso. Estudios realizados demuestran que en algunos casos donde la alimentación es muy fina y regular se podría pensar en una autoalimentación. Esta alimentación directa sería admisible siempre y cuando el volumen total de la carga vertida de una vez no excediera tres veces el volumen interno de la cámara de trabajo, y que dicha carga no contuviese bloques que sobrepasaran el tamaño 0.8 la abertura nominal de la machacadora. El deslizamiento de los

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

materiales se efectuaría regularmente a medida que se van machacando. La machacadora funcionaría siempre a su capacidad máxima y el rendimiento sería prácticamente continuo, con la condición de que al aporte de todo-uno se realizara tan pronto como el precedente fuera evacuado una vez machacado.

En dicho supuesto, una vez machacado el todo-uno, sería indispensable preparar los mecanismos de evacuación de los productos machacados de manera que no produjeran ninguna obstrucción en el caso de que la pendiente de las canaletas no fuera suficiente o en el caso en el que se produjera una parada del transportador de evacuación.

Una vez llevados a la práctica estos estudios queda demostrado que esto es posible en casos muy concretos con condiciones muy especiales, siendo, por lo tanto, hoy en día bastante infrecuente utilizar una machacadora de mandíbulas sin un alimentador mecánico que la suministre.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.12 ESTIMACIÓN DE LA CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN Y COSTES OPERATIVOS DE UNA MACHACADORA DE MANDÍBULAS

Cuando se ha de pensar en la elección de una machacadora, además de su capacidad, la relación entre el tamaño máximo a triturar y las dimensiones de la boca del equipo es fundamental. El tamaño máximo debe ser como mucho el 80% de la dimensión menor de la boca.

La capacidad de las machacadoras se suministra por los propios fabricantes; sin embargo, se puede calcular a partir de la fórmula de Giesking que se expresa de la forma siguiente: (fórmula obtenida del libro del manual de áridos, Editor: Carlos López Jimeno, 1994, Entorno Gráfico).

$$Capacidad = f \cdot \rho_a \cdot w \cdot r \cdot t \cdot n \cdot a \cdot u$$

Donde:

c – capacidad expresada en t/h

f – coeficiente en función de la naturaleza de las mandíbulas y del tratamiento previo de la alimentación para eliminar los finos.

Contenido en finos	Mandíbulas lisas	Mandíbulas onduladas
Con finos naturales	0,00014	0,000106
Finos eliminados sobre rejilla fija	0,000126	0,000088
Finos eliminados cuidadosamente	0,000108	0,000072

ρ_a - densidad aparente de la alimentación que se estima como el 60% de la real.

w – longitud en cm de la ranura de salida igual a la longitud de la boca.

r - reglaje en posición abierta que se tiene como valores extremos entre 1/3 y 1/8 de la anchura de la boca de admisión. Se expresa en cm.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

t – recorrido o amplitud del movimiento en cm. Suele variar entre el 25% y el 40% del reglaje en posición abierta. Si no se conoce se puede tomar el valor medio de $0.33r$.

n – Número de oscilaciones por minuto, igual a las rpm del volante. Si se desconoce se puede obtener de la siguiente figura en función del ancho de la boca.

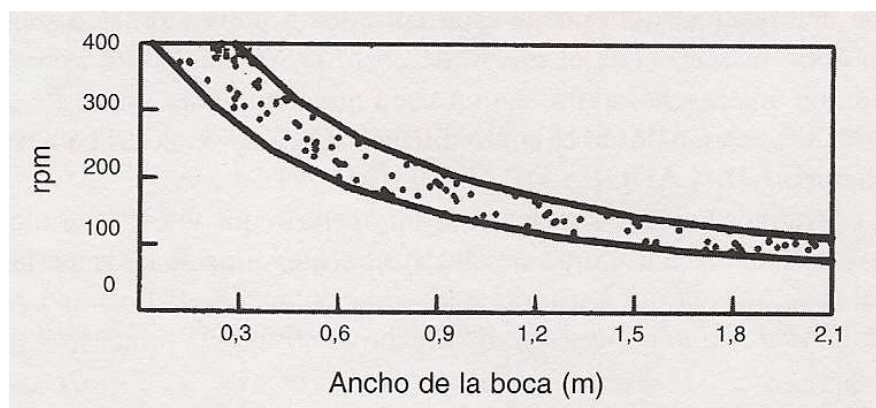


Gráfico 2.1 – Ancho de boca (L). Revoluciones por minuto.

a – coeficiente que depende del ángulo de las mandíbulas y que vale $1+0.03$

u – coeficiente dependiente de la forma de la alimentación de la machacadora y de la relación del tamaño máximo de grano de dicha alimentación al ancho de la boca o dimensión menor de la boca. Se puede obtener de la siguiente gráfica.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

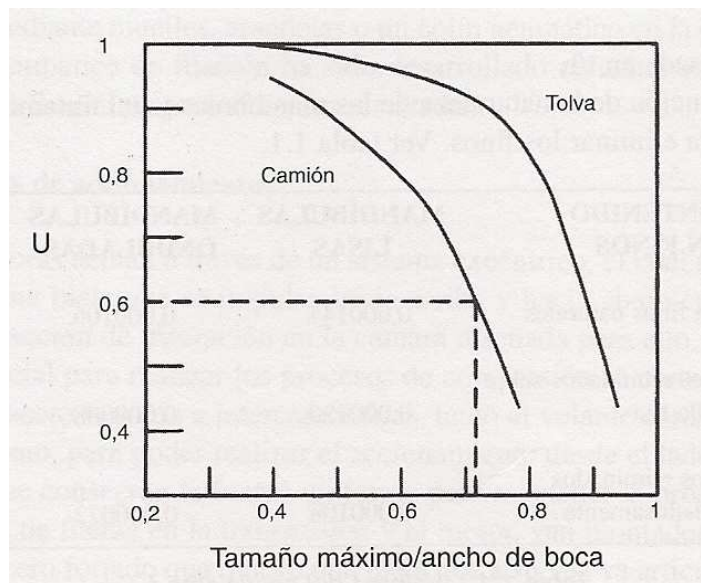


Gráfico 2.2 – Obtención del coeficiente U

Para calcular la potencia del motor necesario se utiliza la fórmula de Bond, mediante el uso del índice de Bond. Esta fórmula proporciona la energía necesaria en kwh/st que hay que transformar en kWh/t. Al multiplicarse por las toneladas por hora que va a procesar el equipo, da la potencia teórica necesaria que hay que multiplicar por 2 de nuevo, debido al carácter alternativo de la acción de estos equipos, para obtener así la potencia nominal del motor.

El consumo real medio de una machacadora varía entre 0.5 kW/h y 1.5 kW/h por tonelada tratada, según sea la dureza de los materiales y el coeficiente de reducción deseado.

Se ha de tener en cuenta que la amortización fiscal de una machacadora puede estar entre los 5 y 10 años, dependiendo de la naturaleza de la obra, mientras que el precio de costo provisional puede preverse en 20 años. La duración de una machacadora con un buen mantenimiento puede llegar a los

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

40 ó 50 años de vida útil, aunque desde el punto de vista tecnológico no es conveniente conservarlas tanto tiempo.

A los costes operativos hay que sumar los de un operario que vigile la alimentación, el reglaje, engrase, etc de la machacadora además de los costes fijos de los materiales de desgaste que variarán en función de las horas de trabajo del equipo así como de la abrasividad y dureza de los materiales que se están triturando. También son importantes los costos de mantenimiento general como el engrase, reglajes periódicos, sustitución de rodamientos, etc.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.13 CONSUMO ENERGETICO E INDICE DE BOND

Una consideración genérica a la hora de elegir un primario es que la opción de una machacadora es siempre válida, ahora bien, es posible que en ciertos casos y siempre que sea posible técnicamente en aras a la eficiencia y al consumo energético sea más adecuado utilizar un molino impactor.

Si la roca es blanda, friable, con alta triturabilidad y baja abrasividad se puede montar un impactor con un coeficiente de reducción de 1:10 frente a una machacadora de mandíbulas con un coeficiente de reducción de 1:4 siempre que se adapten a la producción diaria de la planta y las curvas granulométricas de entrada y salida se adapten las necesidades de la cantera y de los clientes.

Teniendo en cuenta los consumos de una machacadora, comparada con un impactor para procesar un mismo tonelaje, se observa que la machacadora requiere la mitad de potencia que un impactor, entre otros factores debido a los volantes de inercia, sin embargo si atendemos a los coeficientes de reducción anteriormente citados, el consumo energético de la machacadora es mayor.

Además, el W_i de bond en los impactores está corregido por 1.6 y 2 en las machacadoras.

Con la fórmula de bond obtenemos la energía consumida en la conminución de la roca, contemplando además la energía que se transforma en calor y ruido y aumenta de presiones locales.

Para calcular la potencia demandada por el motor que ha de mover una máquina, se multiplica la W_i de Bond por las toneladas por hora de procesará la máquina y finalmente por el coeficiente corrector ya mencionado.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Se puede decir en general que se puede elegir una machacadora de mandíbulas para trituración primaria, pero es preciso conocer el coste energético y el coeficiente de reducción para en los pocos casos que el impactor sea lo más adecuado, hacer uso de él.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.14 INVERSION INICIAL

Siempre se ha pensado de manera errónea que las machacadoras de mandíbulas eran más caras que los molinos impactores, sin embargo estos últimos tienen para puestos primarios un precio de salida al mercado más alto, tanto en el propio equipo como en sus accionamientos y accesorios.

La elección de una machacadora de mandíbulas como máquina de trituración primaria, siempre y cuando las características de la roca y el diseño de la planta lo sugieran, tiene algunas ventajas económicas.

Al trabajar a cámara abierta, una machacadora de mandíbulas tiene menos acero que un impactor que trabaja a cámara llena, con lo cual el peso y el coste de la máquina es menor, además, para un mismo tonelaje la dimensión de la boca de admisión es menor para una machacadora de mandíbulas.

En cuanto a la estructura que acompaña a la machacadora el coste será muy similar a otros equipos utilizados como primarios, aunque una desventaja es el mayor coste de la obra en fábrica (estructura de hormigón) y del bastidor metálico, ya que las cargas dinámicas debidas al momento de inercia de los volantes son mayores.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.15 AMORTIZACIÓN

El estudio de amortización de una machacadora de mandíbulas resulta tanto más interesante cuanto más competentes sean las rocas. Las máquinas al trabajar sufren un desgaste, este desgaste provoca una pérdida de valor que progresa a medida que pasa el tiempo y aumenta el desgaste. Para paliar esto y que al final de la vida útil de la máquina se pueda adquirir otra igual, parte del producto o beneficio de esta máquina se destinará a una amortización anual. La suma de estas anualidades al final del servicio de la máquina, debe permitir la adquisición de otra nueva.

El concepto de amortización se refiere a la amortización fiscal y al concepto de amortización como compra de una nueva máquina que debe tener la empresa cuando ha llegado al final de su vida útil.

2.15.1 ESTUDIO DEL CASO. AMORTIZACIÓN EN UNA EXPLOTACIÓN DE ÁRIDOS DE MATERIAL MILONÍTICO

La empresa Benito Arnó e Hijos, S.A. ha desarrollado un proyecto minero muy importante en la falla milonítica de Toledo, donde en tiempos llegaron a existir hasta tres canteras para áridos. La cantera “El Aljibe”, que así se ha llamado siempre, ha sido por producción y reservas la más importante, y ha sido propiedad de varios grupos constructores y cementeros.

La roca tratada en la cantera es de origen milonítico; material metamórfico de algo grado, derivado de rocas ígneas. La milonita es una roca de elevada dureza, cohesiva y formada por una matriz oscura de material muy fino, concretamente cuarzo-feldespático. La composición del mineral se asemeja a

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

la granodiorita o un granito tonalítico. Estas características físicas y geológicas le dan a este material una alta calidad mecánica, con desgastes de los Ángeles medios del 10.5% (En granulometría F) y un coeficiente de pulimento acelerado (CPA) situado en unos valores medios de 0.56. Estos valores, al igual que el coeficiente de rozamiento transversal (CRT), se mantienen constantes en el tiempo. Ello hace que los áridos procedentes de esta cantera cumplan todas las prescripciones técnicas para la fabricación de mezclas asfálticas y balasto de alta calidad.

Esta roca sometida a los ensayos adecuados ofrece los siguientes resultados:

- Resistencia a compresión simple 2.462 kg/cm²
- Abrasividad 1.650 g/t
- Wi 20 kW·h/t
- Fragmentación dinámica 10-15%
- Densidad roca 2.796 g/cm³

Además, como la milonita procede de rocas ígneas graníticas, tiene un elevado porcentaje de sílice estructural y un porcentaje de cuarzo libre superior al 20%. A primeros de 2004 empezó a trabajar en la explotación una machacadora, con idea de cambiarla antes de los 7 años.

Antiguamente la planta trituraba con una Babbittles CM-SE de boca 1.050x800 mm, que en 1998 fue sustituida por una máquina prácticamente igual.

Se propone en este ejemplo analizar esta segunda máquina y su interacción con la roca milonítica.

Es conveniente resaltar que esta máquina estuvo en servicio desde 1998 hasta finales de 2003. Es decir, una máquina que ha funcionado durante cinco años,

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

cuando el plazo mínimo de amortización permitido es de 6 a 7 años, y el porcentaje máximo es del 15% o 18%. Es evidente que existe un desajuste entre los años que ha funcionado la máquina y los años necesarios para amortizarla legalmente; este desfase puede ser de entre uno y cinco años en este caso.

Obviamente, no se consideran libres amortizaciones, que permite la sección C de la ley de minas, y que en el mejor de los casos serán posteriores a un buen diseño contable y de costes realizado a la hora de invertir en maquinaria.

Esta machacadora en el año 1998 se consideraba como una de las mejores que se podían encontrar en el mercado español. Probablemente la boca de entrada era un poco ajustada para los bolos más representativos procedentes de la voladura; no obstante, lo importante es considerar las características intrínsecas de esta milonita. La resistencia a compresión simple fruto de su armazón estructural y de su contenido en sílice, el cual también determinan la alta abrasividad de esta roca, así como su densidad, su W_i , y el resto de factores, determinaron un gran sufrimiento estructural sobre todo del bastidor de la machacadora. También los volantes, el eje y la placa de articulación debían ser vigilados y comprobados continuamente en el último año de trabajo de la machacadora.

Evidentemente, una máquina con cinco años de funcionamiento y producción que debe atenerse a una amortización teórica de diez años (mínimo 6 o 7) crea un desajuste que debe ser previsto. Ya sea como imputación de un mayor coste anual por esta máquina (una amortización real a seis años,

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

independientemente de la contable) o como una cuenta en el balance de “compensación de la amortización”.

Además, esta misma máquina trabajando en una caliza con una resistencia a compresión simple pequeña o mediana no hubiera tenido los costes de mantenimiento de esta machacadora en la milonita; es decir, además del alto coste en fungibles y horas de parada para el cambio de éstos, también se incurrió en unos costes procedentes de reforzar fundamentalmente el bastidor con importantes trabajos de calderería. Trabajos, estos últimos, que también terminaron afectando a todos los elementos de la máquina.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.16 CONSUMO DE ELEMENTOS ANTIDESGASTE

Las machacadoras de mandíbulas consumen principalmente los revestimientos, que son las superficies antidesgaste colocadas en la cámara de trituración y se han de renovar a medida que avanzan los procesos de trituración.

En estos equipos el consumo de elementos antidesgaste no es un punto principal a tener en cuenta a la hora de elegir un primario.

2.17 TIEMPO DE PARADA. MANTENIMIENTO

Los tiempos de parada de la máquina al igual que el punto anterior tampoco son de vital importancia a la hora de elegir un primario.

En las machacadoras de mandíbulas para cambiar o dar la vuelta a las placas antidesgaste, son necesarias unas condiciones adecuadas de seguridad, siendo necesario que el alimentador y la tolva se encuentren vacíos.

Las machacadoras de mandíbulas llevan cierto trabajo a la hora de realizar el cambio de elementos antidesgaste por ser unas piezas de peso y tamaño considerables.

Aun así, es primero la elección de la máquina y después los revestimientos y sus aleaciones. Una vez se ha elegido el primario adecuado, se debe trabajar sobre los tiempos de parada y los revestimientos adecuados para una máquina y una roca determinada. Se optimiza la elección tomada, no se elige en función de estos factores.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Como se puede apreciar en la tabla, el tamaño de alimentación influye de manera notoria. Se incluye una machacadora trabajando como secundario (gravillador) en una roca que provoca mucho desgaste de fungibles.

	CUARCITA ARMORICANA (GUADALAJARA)	MILONITA (FALLA TOLEDO)	MILONITA (FALLA TOLEDO)	MICROGABRO (OFITA, HUESCA)
MÁQUINA	TURBO 1.100 x 850	METSO C-140 1.400x1.070	BABBITLESS MR-11 1.100x850	METSO C-140 1.400x1.070
Vuelta mandíbula móvil	8.000 t	300.000 t	200.000 t	1.500.000 t
Cambio mandíbula móvil	16.000 t	600.000 t	400.000 t	3.000.000 t
Vuelta mandíbula fija	6.500 t	150.000 t	75.000 t	1.000.000 t
Cambio mandíbula fija	13.000 t	300.000 t	150.000 t	2.500.000 t
Granulometría	0-800 mm	0-1.000 mm	0-800 mm	0-500 mm
	ANDESITA (SISTEMA CENTRAL)	CUARCITA ARMORICANA (GUADALAJARA) actuando como trituración secundaria	MICROGRANITO (CÓRDOBA)	CALIZA CON PORCENTAJE DE SILICE~15% (LUGO) con fungibles que sólo contienen manganeso
MÁQUINA	LARON MS5 1.320x1050	TURBO 700x550	TRIMAN TMM 1300 1.300x1.045	LARON MS-35-AH 1.300x800
Vuelta mandíbula móvil	1.200.000 t	2.200 t	200.000 t	230.000 t
Cambio mandíbula móvil	2.500.000 t	4.500 t	400.000 t	460.000 t
Vuelta mandíbula fija	900.000 t	1.650 t	100.000 t	230.000 t
Cambio mandíbula fija	1.600.000 t	3.200 t	200.000 t	460.000 t
Granulometría	0-1.000 mm	0-350 mm	0-1.000 mm	0-900 mm

Tabla 2.1 – Ejemplos de distintas rocas y su acción sobre las mandíbulas de machacadoras en cuanto a desgaste se refiere.

2.18 ACEROS Y FUNDICIONES ANTIDESGASTE

En función del movimiento que se describe dentro de las cámaras de trituración, tienen lugar unas fuerzas responsables de generar unos tipos u otros de desgaste, que conjuntamente con la dureza, tenacidad y abrasividad de los materiales a triturar son los que determinan qué tipo de aleación es la más conveniente para cada situación.

El concepto de mecanismo de desgaste es fundamental para comprender esta situación.

Cuando un material abrasivo entra en contacto con una superficie de acero, siendo forzado a penetrar o desplazarse sobre la misma, produce un desprendimiento o arrancamiento de partículas de acero que conducen a un desgaste de la superficie. Los desgastes se catalogan como abrasión por roce, abrasión por presión y abrasión por erosión.

La abrasión por roce se da principalmente en aquellos equipos de trituración donde hay una reducción por compresión. Así en las machacadoras de mandíbulas y en los trituradores de cono se dan fuerzas de presión y de desplazamiento sobre el material abrasivo. Si el material abrasivo es más duro que el acero, éste penetra en la superficie y, al desplazarse, produce el levantamiento de viruta de la superficie antidesgaste, que se manifiesta como un rayado. La dificultad para arrancar esta viruta depende de la carga de rotura del acero.

La abrasión por presión se da principalmente en los molinos de cilindros, y se produce cuando un material situado entre dos superficies de acero que son aproximadas con una fuerza muy grande desplazándose únicamente en

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

dirección perpendicular a sus puntos de tangencia. Si el material abrasivo es más duro que el acero, penetrará en éste, y en operaciones sucesivas se irán desprendiendo partículas de acero, con lo cual se producirá un desgaste.

Cuando el material es más blando, por imposibilidad de espacio físico se produce una deformación en la superficie del acero, que podrá ser o no permanente. En cualquier caso, en operaciones sucesivas habrá esfuerzos de fatiga que conducirán a grietas y, finalmente, desprendimientos de partículas de acero. Por lo tanto, en la abrasión por presión, además de la dureza del acero, interviene la capacidad del acero para soportar esfuerzos repetidos sin agrietarse.

La abrasión por erosión se da principalmente en los molinos impactores. En ellos una superficie de reposo, en este caso las placas de impacto, es la que recibe la partícula abrasiva a gran velocidad. Si dicha partícula. Si dicha velocidad es suficientemente grande, de forma instantánea y localmente se produce un esfuerzo que puede llegar a ser considerable, arrancándose por el impacto partículas de acero, pero siempre antes de que el esfuerzo se haya transmitido a las partículas de acero contiguas. Así, los factores en la resistencia del acero son la dureza, la resistencia a la tracción, la cohesión y la capacidad para transmitir una deformación local a las partículas contiguas.

Como conclusión, y después de haber analizado los tres tipos de abrasión, se ha de decir que en la práctica todos los tipos de abrasión se presentan siempre unidos, pero uno es el predominante. En función de cual sea del de mayor incidencia llevará a elegir un tipo de acero determinado. En cualquier caso, no hay ningún cálculo teórico que nos permita obtener el tipo de acero o fundición

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

más adecuado, siendo la práctica y la experiencia lo que permitirá realizar dicha elección.

2.19 DIMENSIONADO DE MACHACADORAS DE MANDIBULAS

El correcto dimensionado de una machacadora de mandíbulas es de vital importancia para el buen funcionamiento de una explotación minera ya que esta debe ser capaz de realizar el trabajo de reducción primaria de una manera adecuada, sin tener más averías de las consideradas normales y siempre con unos costes que aseguren la rentabilidad del proceso.

Los parámetros principales para el dimensionado de una machacadora de mandíbulas son:

- Diámetro máximo y boca de admisión.
- Capacidad y reglaje.
- Granulometría y porcentaje de paso por la malla de reglaje.
- Potencia absorbida y potencial motor.

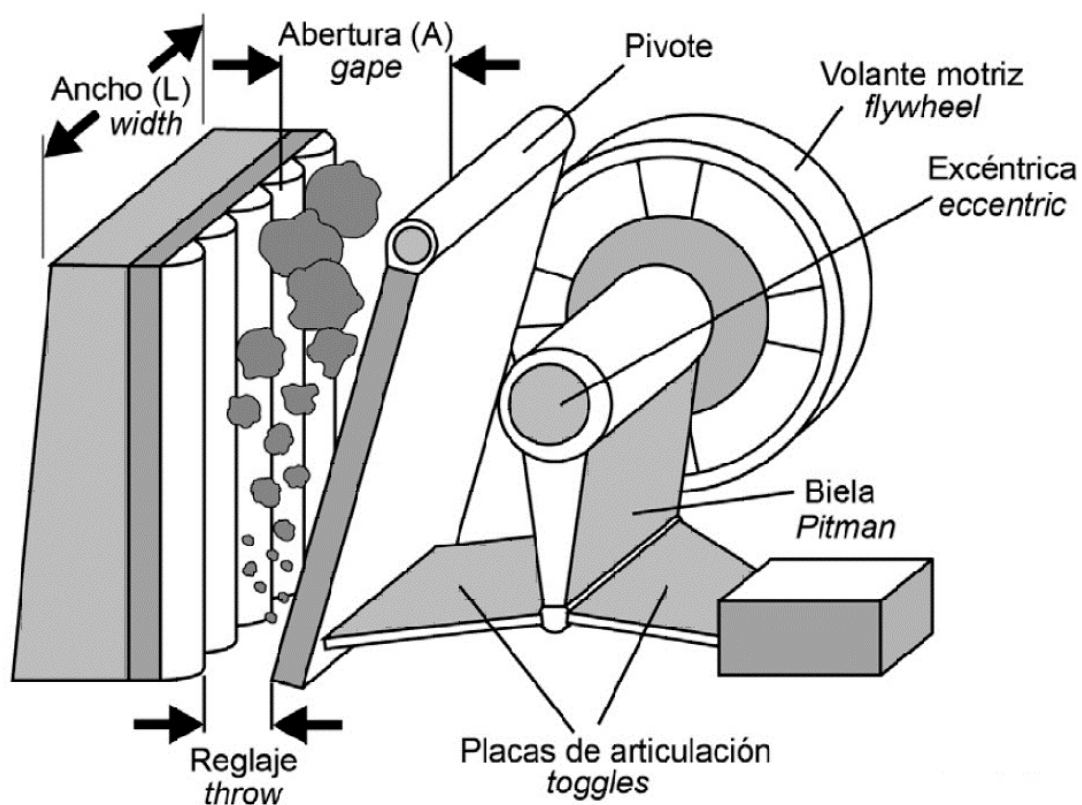


Ilustración 2.11 – Esquema donde se muestran las dimensiones de la boca de admisión

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.19.1 BOCA DE ADMISIÓN Y DIÁMETRO MÁXIMO

La boca de admisión de una trituradora queda definida por las dimensiones de abertura de la boca (A) y el ancho de la boca (L).

Para no tener problemas con la entrada de fragmentos grandes a la trituradora, se debe cumplir:

$$D_{max} = 0.8 \cdot A$$

La abertura y el ancho están relacionados por la siguiente expresión:

$$L = (1.5 - 2) \cdot A$$

El diámetro máximo se obtiene con la información proporcionada por el precribado previo (parrillas o grizzlies). Además, dependiendo de las características de los cazos de los equipos de carga de la instalación minera, también se podrá tener una idea de la dimensión del tamaño máximo de roca que se produce en la explotación.

2.19.2 REGLAJE

El reglaje tanto en machacadoras de mandíbulas como en otros equipos de trituración primaria es la abertura de la salida en posición abierta (O.S.S. “open side setting”).

El reglaje (r) viene dado por la suma del recorrido (t) con la abertura de salida en posición cerrada (s).

$$r = s + t$$

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

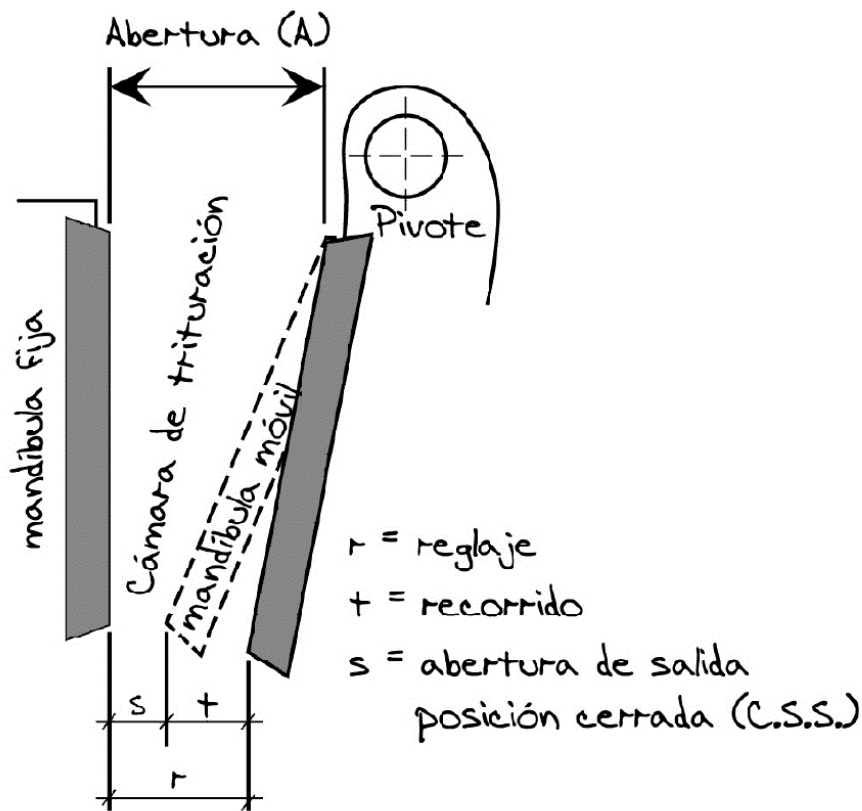


Ilustración 2.12 – Representación de las medidas de salida

2.19.3 CAPACIDAD

A continuación se muestran varios procedimientos a través de fórmulas empíricas por los cuales se puede obtener la capacidad de una machacadora de mandíbulas, aunque tanto este dato como el de la granulometría suele ser ofrecido por el fabricante de los equipos en su catálogo de productos.

CAPACIDAD. TAGGART

$$T = 0.6 \cdot L \cdot (S + T) = 0.6 \cdot L \cdot r$$

Donde:

- T = capacidad de la máquina (sht)
- L = Longitud de la máquina (pulgadas)
- r = reglaje (pulgadas)

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

CAPACIDAD. BROMAN (1984)

$$Q = B \cdot S \cdot s \cdot \cot(a \cdot k \cdot 60 \cdot n)$$

Donde:

- Q = capacidad de la máquina (m³/h)
- B = ancho de la trituradora (m)
- S = reglaje del lado abierto o O.S.S. (m)
- s = abertura de salida en posición cerrada (m)
- a = ángulo que forman las mandíbulas
- n = velocidad de la trituradora (rpm)
- k = constante del material

CAPACIDAD. GRIESKIENG

$$T = f \cdot \rho_a \cdot w \cdot r \cdot t \cdot n \cdot a \cdot u$$

Donde:

- T = capacidad de la máquina (tph)
- f = coeficiente cuyo valor depende del tipo de alimentación y del tipo de mandíbulas empleadas

Naturaleza de la alimentación	Mandíbulas lisas	Mandíbulas acanaladas
Con sus finos normales	0.000144	0.000106
Finos eliminados	0.000126	0.000088
Cribado cuidadosamente	0.000108	0.000072

- ρ_a = densidad aparente. Puede tomar el valor de 0,6· densidad real.
- w = ancho de la cámara de trituración (cm). Es la dimensión L.
- r = reglaje (cm). Abertura en posición abierta. Con mandíbulas acanaladas, esta distancia se mide entre valle y cumbre.
- t = recorrido (cm). Si se desconoce se puede estimar como $t = 0.33 \cdot r$
- n = número de revoluciones por minuto. Se puede estimar por medio de curvas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

- a = coeficiente que depende del ángulo que forman la mandíbula fija y la móvil en posición cerrada y toma el siguiente valor:

$$a = 1 + 0.03(26 - \alpha)$$

Siendo α el ángulo que forman las mandíbulas a la entrada en posición cerrada.

- u = coeficiente de utilización. Su valor se obtiene a través de gráfica. Donde R es el diámetro máximo D_{max} / abertura de alimentación (A).

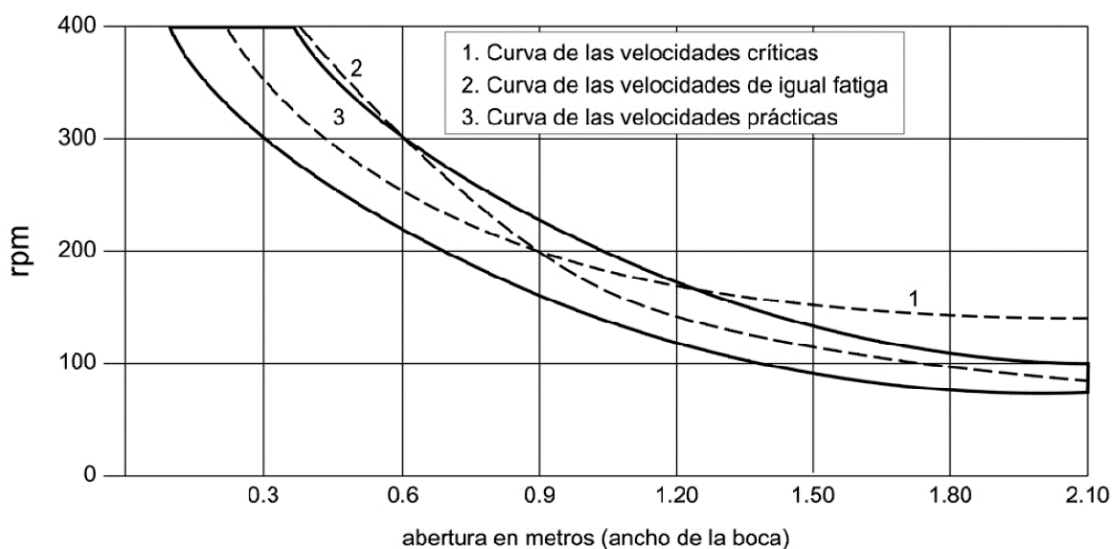
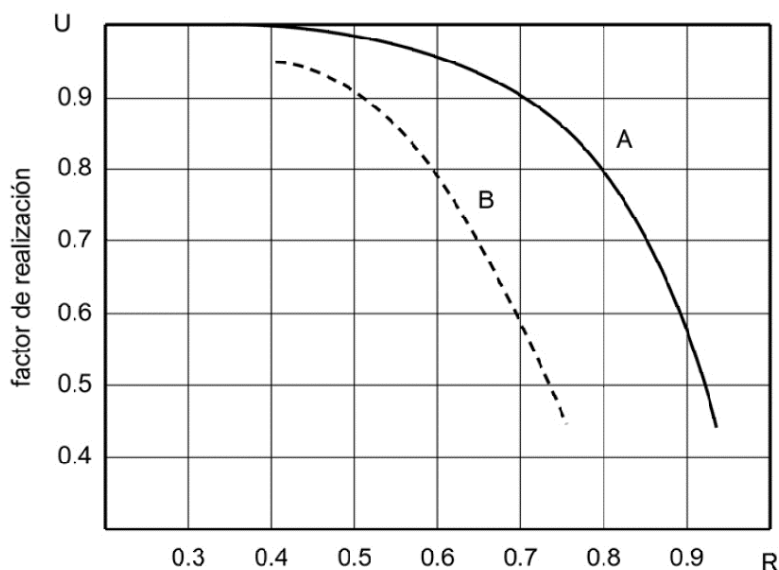


Gráfico 2.2 – Selección de velocidad con el ancho de la boca

A = Curva para una alimentación controlada realizada con tolva

B = Curva para una alimentación realizada con camión



R = cociente entre la abertura cuadrada que deja pasar el 100% de la alimentación y el ancho de la boca de entrada (gape)

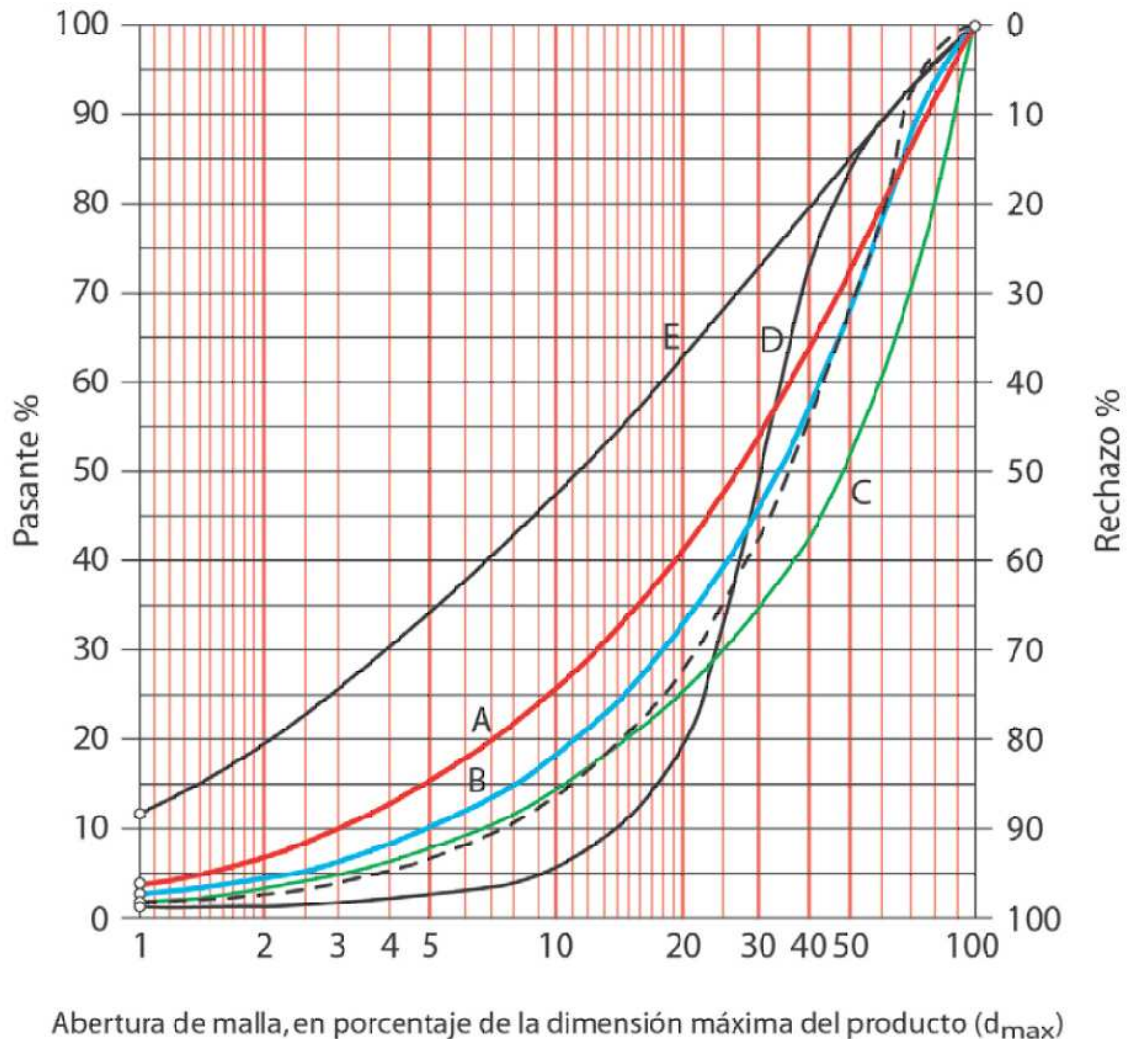
Gráfico 2.3 – Coeficiente de utilización

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.19.4 CURVA GRANULOMÉTRICA

La curva granulométrica para el producto de una trituradora de mandíbulas la representa la curva A en color rojo.



2.19.5 CALCULO DE LA POTENCIA

Para el cálculo de la potencia se puede emplear la ecuación de Bond.

$$P_a = 10 \cdot w_i \cdot \frac{1}{0.907} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \cdot Q$$

Siendo:

- P_a = potencia absorbida (kW)
- Q = Capacidad de la trituradora (tph)

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

- w_i = índice de trabajo, depende del material a triturar.
- La potencia motor o potencia útil es:

$$P_m = 2 \cdot P_a$$

Índice de Trabajo de Impacto W_i		Índice de abrasión A_i	
Material	Valor W_i	Material	Valor A_i
Basalto	20 ± 4	Basalto	0,200 ± 0,20
Diabasa	19 ± 4	Diabasa	0,300 ± 0,10
Dolomita	12 ± 3	Dolomita	0,010 ± 0,05
Min. de Hierro Hematita	11 ± 3	Min. de Hierro Hematita	0,500 ± 0,30
Min. de Hierro Magnetita	8 ± 3	Min. de Hierro Magnetita	0,200 ± 0,10
Gabro	20 ± 3	Gabro	0,400 ± 0,10
Gneiss	16 ± 4	Gneiss	0,500 ± 0,10
Granito	16 ± 6	Granito	0,550 ± 0,10
Vacia gris	18 ± 3	Vacia gris	0,300 ± 0,10
Caliza	12 ± 3	Caliza	0,001 – 0,03
Cuarcita	16 ± 3	Cuarcita	0,750 ± 0,10
Porfirio	18 ± 3	Porfirio	0,100 – 0,90
Arenisca	10 ± 3	Arenisca	0,600 ± 0,20
Sienita	19 ± 4	Sienita	0,400 ± 0,10

Tabla 2.1 – Obtención del índice de trabajo y de abrasión

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

2.20 ESTUDIO DE CASO PARA UNA EXPLOTACIÓN DE CALIZAS DE 1400T/H

Se supone un caso práctico en el que se nos solicita el diseño de una machacadora de mandíbulas. Este equipo deberá ser capaz de cumplir las siguientes características.

Díametro máximo de entrada: 720 mm

Capacidad de producción: 1400 tph en condiciones estándar.

Reglaje: 48.8 cm

Razón de reducción = 3

Material a triturar: Caliza de dureza media.

Se ha realizado un análisis del material volado en el frente de cantera, obteniendo la curva granulométrica que se adjunta en la gráfica.

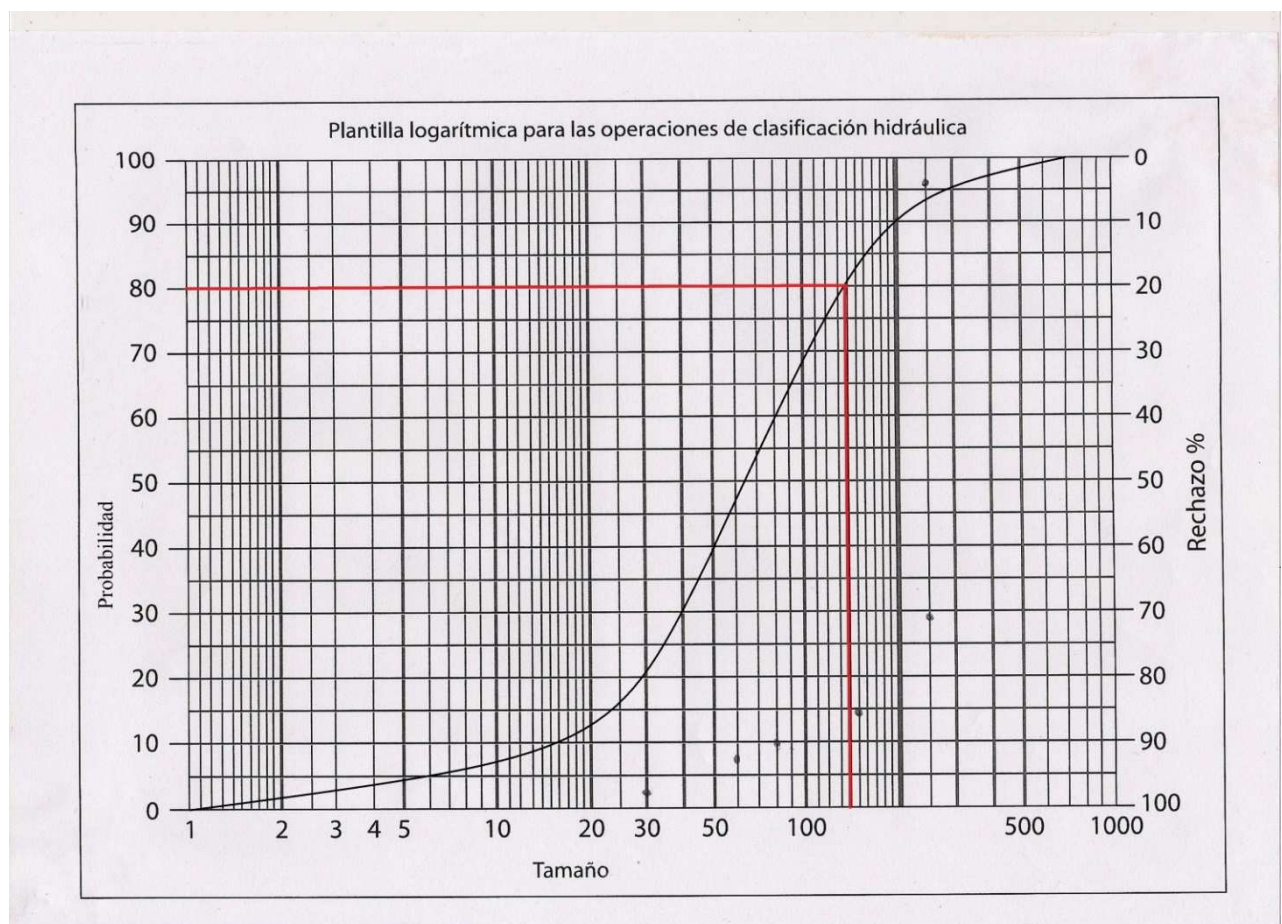


Gráfico 2.4 – Curva de alimentación

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Primero obtendremos la abertura a partir del D_{max}

$$D_{max} = 0.8 \cdot A$$

$$720 = 0.8 \cdot A$$

$$A = 900 \text{ mm}$$

La abertura y el ancho se relacionan según la siguiente expresión:

$$L = (1.5 - 2) \cdot A$$

$$L = (1.5 - 2) \cdot 900$$

$$L = (1.5) \cdot 900$$

$$L = 1350 \text{ mm}$$

Alicando ahora la fórmula de Gieskieng tenemos que:

$$T = f \cdot \rho_a \cdot w \cdot r \cdot t \cdot n \cdot a \cdot u$$

$$T = 0.000088 \cdot 1.32 \cdot 135 \cdot 48.8 \cdot 16.104 \cdot 120 \cdot 1.06 \cdot 0.8 = 1308 \text{ tph}$$

$$f = \text{mandíbulas acanaladas con finos eliminados (0.000088)}$$

$$\rho_a = \rho_r \cdot 0.6 = 2.2 \cdot 0.6 = 1.32$$

$$w = 135 \text{ cm}$$

$$r = 48,8 \text{ cm}$$

$$t = 48,8 \cdot 0.33 = 16.104 \text{ cm}$$

$$n = \text{Gráfica} \rightarrow 120 \text{ rpm}$$

$$a = 1 + 0.03(26 - \alpha) \rightarrow a = 1 + 0.03(26 - 24) = 1.06$$

$$u = \text{Gráfica} \rightarrow 0.8$$

$$R = \frac{D_{max}}{A} = \frac{720}{900} = 0.8$$

Con estos datos estaríamos a unas 100 tph de los que nos pide los requisitos de cantera.

Dado a la experiencia como fabricante se baraja la opción de reducir el ancho (L) de la trituradora, consiguiendo así un equipo más robusto. Con esta modificación volvemos al gráfico de selección de rpm y obtenemos un nuevo valor de estas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

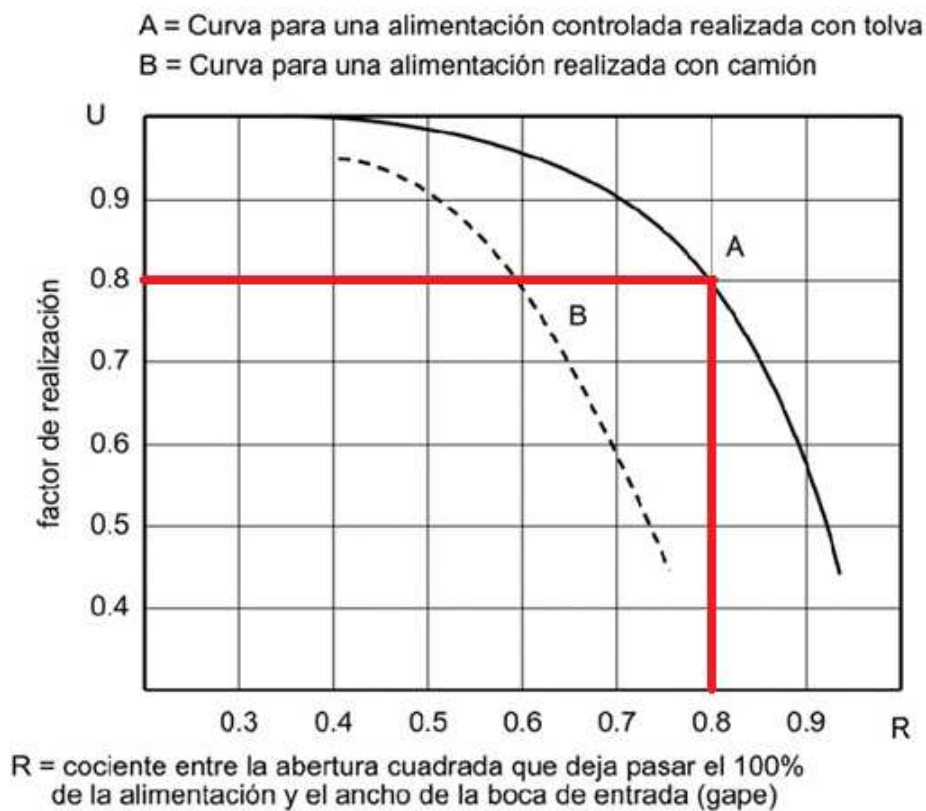


Gráfico 2.5 – Factor de realización

Se ha reducido en 15 cm el ancho (L) de la boca de admisión, obteniendo ahora unas 150 rpm. Se vuelve a calcular.

$$T = 0.000088 \cdot 1.32 \cdot 120 \cdot 48.8 \cdot 16.104 \cdot 150 \cdot 1.06 \cdot 0.8 = 1454 \text{ tph}$$

T = 1454 tph. Valor que cumple las condiciones especificadas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

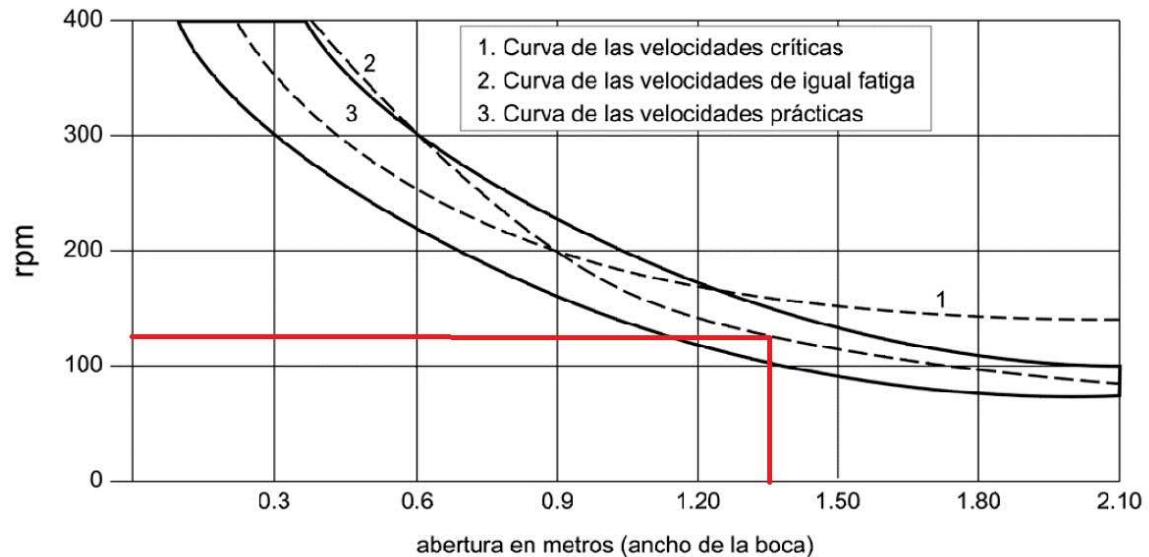


Gráfico 2.6 – Primera estimación de la velocidad

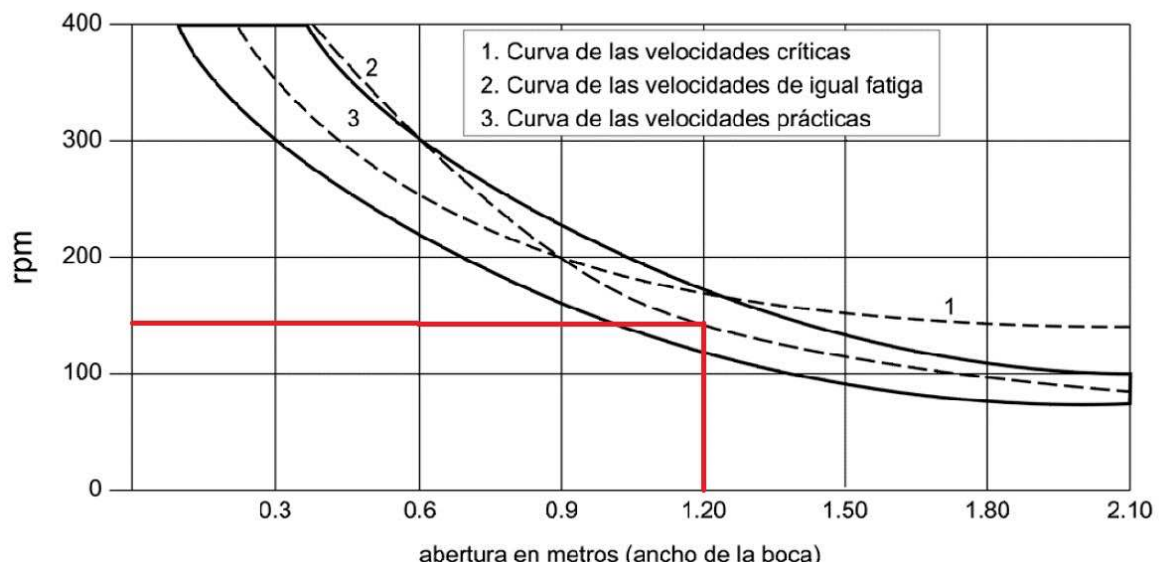


Gráfico 2.7 – Segunda estimación de la velocidad

Se calcula la potencia con la ecuación de Bond

$$P_a = 10 \cdot w_i \cdot \frac{1}{0.907} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{d_{80}}} - \frac{1}{\sqrt{D_{80}}} \right) \cdot Q$$

$$P_a = 10 \cdot 12 \cdot \frac{1}{0.907} \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{46.6}} - \frac{1}{\sqrt{140}} \right) \cdot Q = 11479.2 \text{ kW}$$

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Índice de Trabajo de Impacto W_i		Índice de abrasión A_i	
Material	Valor W_i	Material	Valor A_i
Basalto	20 \pm 4	Basalto	0,200 \pm 0,20
Diabasa	19 \pm 4	Diabasa	0,300 \pm 0,10
Dolomita	12 \pm 3	Dolomita	0,010 \pm 0,05
Min. de Hierro Hematita	11 \pm 3	Min. de Hierro Hematita	0,500 \pm 0,30
Min. de Hierro Magnetita	8 \pm 3	Min. de Hierro Magnetita	0,200 \pm 0,10
Gabro	20 \pm 3	Gabro	0,400 \pm 0,10
Gneiss	16 \pm 4	Gneiss	0,500 \pm 0,10
Granito	16 \pm 6	Granito	0,550 \pm 0,10
Vacia gris	18 \pm 3	Vacia gris	0,300 \pm 0,10
Caliza	12 \pm 3	Caliza	0,001 \pm 0,03
Cuarcita	16 \pm 3	Cuarcita	0,750 \pm 0,10
Porfirio	18 \pm 3	Porfirio	0,100 \pm 0,90
Arenisca	10 \pm 3	Arenisca	0,600 \pm 0,20
Sienita	19 \pm 4	Sienita	0,400 \pm 0,10

$$w_i = \text{Caliza de dureza media} = 12$$

$$d_{80} \text{ con una razón de reducción } 1:3 = 46.6$$

$$Q = 1400 \text{ tph}$$

$$P_m = 2 \cdot P_a$$

$$P_m = 2 \cdot 11479.2 = 22958.4 \text{ kW} \approx 23.000 \text{ kW}$$

3 MANTENIMIENTO

3.1 INTRODUCCIÓN AL MANTENIMIENTO

El mantenimiento de una planta de áridos o específicamente de una machacadora de mandíbulas, es el conjunto de acciones que permiten mantener o restablecer un bien o asegurar un servicio determinado, de tal manera que el coste global sea el óptimo. El técnico de mantenimiento tiene que gestionar el conjunto del servicio, el personal, el material y las inversiones.

3.1.1 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Existen varios tipos de mantenimiento aplicables a una machacadora de mandíbulas o a una planta de áridos en su defecto.

- Mantenimiento correctivo: lo componen el conjunto de tareas destinadas a corregir los defectos que se van presentando en los distintos equipos y que son normalmente comunicados al departamento de mantenimiento por los usuarios de los mismos.
- Mantenimiento programado: lo componen el conjunto de tareas de mantenimiento que tienen por misión mantener un nivel de servicio determinado en los equipos, programando las revisiones e intervenciones de sus puntos vulnerables en el momento más oportuno. Suelen tener un carácter sistemático, es decir, se interviene aunque el equipo no haya dado ningún síntoma de tener un problema.
- Mantenimiento predictivo: lo componen el conjunto de tareas que persiguen conocer e informar permanentemente del estado y

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

operatividad de las instalaciones mediante el conocimiento de los valores de determinadas variables, representativas de tal estado y operatividad. Para aplicar este tipo de tareas de mantenimiento, es necesario identificar variables físico-químicas (composición, temperatura, vibración, consumo de energía, etc.) cuya variación sea indicativa de problemas que puedan estar apareciendo en el equipo. Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, pues requiere de medios técnicos avanzados, y a veces de fuertes conocimientos matemáticos, físicos y técnicos.

- Mantenimiento 'cero horas': lo componen el conjunto de tareas cuyo objetivo es revisar los equipos a intervalos programados bien antes de que aparezca ningún fallo, bien cuando la fiabilidad del equipo ha disminuido apreciablemente de manera que resulta arriesgado hacer previsiones sobre su capacidad productiva. La aplicación de este conjunto de tareas tienen como objetivo dejar el equipo a cero horas de funcionamiento, es decir, como si éste fuera nuevo. En estas revisiones se sustituyen o se reacondicionan todos los elementos sometidos a desgaste. Se pretende asegurar, con gran probabilidad, un tiempo de buen funcionamiento fijado de antemano. A veces se denomina a estas intervenciones Paradas u Overhaul.
- Mantenimiento conductivo: es el conjunto de tareas de mantenimiento básico de un equipo realizado por los usuarios del mismo. Consiste en una serie de tareas elementales (tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos) para las que no es necesario

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

una gran formación, sino tan solo un entrenamiento breve. Este tipo de mantenimiento es la base del TPM (Total Productive Maintenance, Mantenimiento Productivo Total).

- **Mantenimiento modificativo:** Consiste en modificar la instalación para evitar que sucedan determinadas averías. Es cuestionable si realmente se trata de tareas de mantenimiento u otro tipo de actividad. En muchas instalaciones, no obstante, para conseguir los objetivos de disponibilidad y fiabilidad, es imprescindible modificar la instalación para corregir o mejorar un diseño.

3.1.2 CONCEPTO DE FALLO Y AVERÍA

La avería es un estado de inoperatividad forzosa (parada de la instalación).

El fallo es la transición desde el estado de operatividad de un equipo al estado de inoperatividad forzosa o avería.

3.1.3 FASES EN LA VIDA DE UNA INSTALACIÓN

La vida de una machacadora de mandíbulas puede dividirse en tres fases:

- **Nacimiento:** Muy pocas averías, normalmente impredecibles. Generalmente son producidas por falta de control de calidad en la fabricación o asentamientos incorrectos de algunos elementos. En esta fase el número de averías disminuye rápidamente.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

- Vida útil: El número y tipo de averías puede mantenerse constantes. Estas son fáciles de controlar, debido al conocimiento y al control de la instalación.
- Vejez: El número de averías sufre un incremento continuo.

3.1.4 COEFICIENTE DE DISPONIBILIDAD MECÁNICA

Este coeficiente aporta una idea clara de la fiabilidad y el estado mecánico de la máquina. Igualmente de una idea del número y la importancia de averías sufridas. Un coeficiente de disponibilidad elevado se conseguirá con un buen mantenimiento.

$$C_d(\text{coeficiente de disponibilidad mecánica}) = \frac{H_{tr} (\text{Horas trabajadas})}{H_{tr} + H_{ar}(\text{Horas de averías})}$$

3.1.5 COEFICIENTE DE APROVECHAMIENTO

Este coeficiente se ve muy afectado por las horas de parada de la planta, por el mal tiempo atmosférico y por las averías de la instalación. Nos da una idea clara de las horas disponibles de la planta que han sido aprovechadas y no aprovechadas.

$$C_a = \frac{H_{tr} + H_{av}}{H_{tr} + H_{av} + H_{pa}}$$

3.1.6 COEFICIENTE DE UTILIZACIÓN

Es el coeficiente entre las horas de trabajo y las horas totales de presencia.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Es el indicativo de las horas de trabajo de la planta respecto a las horas de presencia, y es muy importante porque afecta a los costes de producción si el personal y los equipos no se utilizan en otros temas relacionados con la planta.

$$C_u = C_d + C_a$$

3.1.7 EFICIENCIA DE UNA INSTALACION

Es el resultado de la eficiencia de la instalación dividida por los costes.

Para que una planta sea eficiente tiene que ser eficaz y tener costes relativamente pequeños. Igualmente para que sea eficaz tiene que tener disponibilidad, fiabilidad, mantenibilidad y seguridad. Es decir, disponibilidad como capacidad para funcionar en un determinado instante, fiabilidad como capacidad para funcionar durante un determinado periodo de tiempo, mantenibilidad como capacidad para ser mantenida y seguridad como capacidad para operar sin producir daños.

3.1.8 LA GESTION DEL MANTENIMIENTO

La gestión del mantenimiento ha de tener un único objetivo; es decir, disponer de la máquina el máximo tiempo posible con el mínimo coste. Para lograr esta meta hay que cumplir el plan de mantenimiento estipulado por el fabricante, o el diseñado por la propia empresa, de tal manera que no se produzcan excesivas interrupciones en la producción.

3.1.9 LA ORGANIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

El objeto de la organización del mantenimiento es conseguir que los equipos en cada momento estén en plena utilización; para ello hay que seguir una serie de pautas encaminadas a la gestión, planificación y preparación de trabajos, que previamente se han analizado.

Para poder llegar a estas conclusiones, primero hay que elaborar un plan de mantenimiento, recogiendo la información de los catálogos de los equipos que se van a utilizar en la instalación, preparando un estudio máquina por máquina con los periodos de mantenimiento que le corresponda, agrupando varios equipos de la instalación que tengan la misma frecuencia de lubricación y engrase, revisando visualmente las estructuras, la tornillería, las correas, etc.

Un buen método para realizar este plan de mantenimiento es siguiendo unas fichas, que indicarán las funciones a realizar o servirán como información para pedidos, futuras revisiones, etc. Estas fichas pueden ser:

- Mantenimiento nivel semanal: Donde se indicará para cada máquina los puntos de engrase y aquellos puntos a comprobar.
- Parte de lectura de horómetros: Siempre indicando la fecha, se anotarán las horas de la máquina y se incluirán las observaciones en caso de ser preciso.
- Parte diario de reparaciones: En él se describirá el trabajo realizado de reparación.
- Parte de averías: Cuando el mecánico observe alguna avería deberá rellenar este parte para que el encargado y/o jefe de mantenimiento tomen las medidas oportunas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

3.1.10 PUNTOS A CONSIDERAR EN EL MANTENIMIENTO

Los puntos que se han de considerar en cualquier mantenimiento son los siguientes:

- Confección de un presupuesto de los costes de mantenimiento previstos anualmente.
- Implantación de un sistema de control presupuestario, coste de indisponibilidad, analizando los elementos críticos del coste del mantenimiento.
- Hay que hacer un seguimiento del mantenimiento realizado.
- Estudio de costes de mantenimiento, tipos de mantenimientos a seguir y sistema de planificación.
- Estudio de costes de mantenimiento, tipos de mantenimientos a seguir y sistema de planificación.
- Estudio de los tiempos de las averías: ver si son repetitivas, poner medios y analizar las causas que las producen.
- Conocimiento de los equipos críticos que afecten directamente al proceso productivo, dejando la planta parada por avería.
- Análisis, control y seguimiento de los repuestos pedidos. Es necesario garantizar tenerlos en stock de almacén lo antes posible, para garantizar el correcto funcionamiento de los equipos. Si se produce una avería, que no sea la pérdida de tiempo en la reparación por falta de repuesto y, como consecuencia, la pérdida de producción. Hay que crear un sistema de recopilación de datos y de información para que el control sea lo más preciso posible.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

- La seguridad de la instalación y por supuesto la del personal. Se debe de tener un mayor cuidado a la hora de realizar el mantenimiento. Los equipos a los que se les vaya a realizar el mantenimiento deben estar parados y con los equipos eléctricos de seguridad desconectados.
- Optimización de la disponibilidad de las unidades producidas.

3.1.11 DISTRIBUCIÓN DE INFORMACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

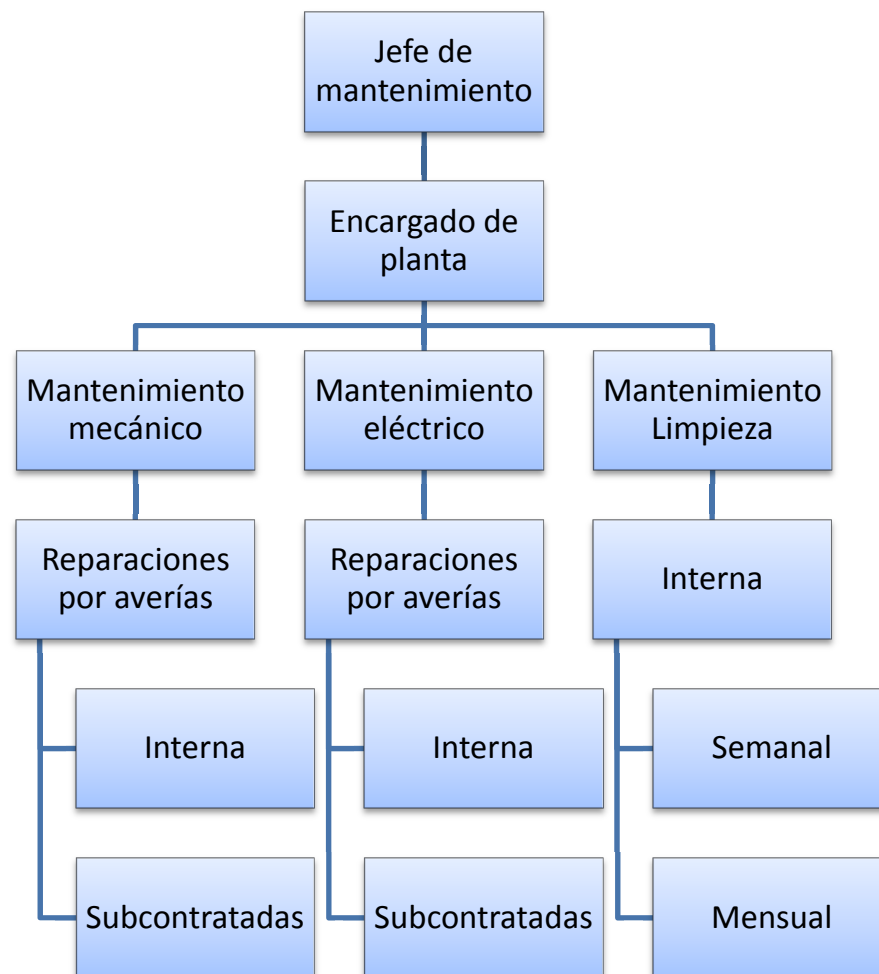
La distribución de toda la información para la realización del mantenimiento se puede apreciar en la siguiente figura:

3.1.12 DIAGRAMA DE ORGANIZACIÓN POR TAREAS DE MANTENIMIENTO

En el siguientes esquema se hace referencia a los diferentes pasos que se deben seguir a la hora de organizar un mantenimiento o reparación de algún equipo de la planta, bien sea una reparación realizada por el personal propio o subcontratado.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT



3.1.13 VENTAJAS DE UNA BUENA CALIDAD DE MANTENIMIENTO

Las ventajas de una buena calidad de mantenimiento vienen dados gracias a una buena actuación del área de mantenimiento pudiendo:

- Evitar averías y solucionarlas a tiempo.
- Incrementar la vida útil y la eficacia de los equipos de la instalación.
- Incrementar la producción.
- Reducir los costes finales.

3.2 LUBRICACION O ENGRASE

La lubricación o el engrase en los equipos resulta fundamental para ejercer una mayor influencia sobre la vida útil de la maquinaria y el perfecto funcionamiento de todas las piezas sometidas a rozamientos. Igualmente, influye en la cuantía e importancia de las reparaciones, así como es el funcionamiento del material. Un mal engrase puede dar lugar a graves averías y dejar fuera de servicio durante un prologado espacio de tiempo la maquinaria afectada y, en algunas ocasiones, toda la instalación con la consiguiente parada en la producción. Desde este punto de vista, la lubricación sigue siendo una de las pocas formas de intervención de carácter típicamente cíclico y preventivo. La importancia de la lubricación es evidente; sin embargo, en muy pocas ocasiones se considera la necesidad de realizar esta función de forma organizada, con el mínimo coste, garantizando la máxima eficiencia y utilizando los instrumentos adecuados. Con la operación de lubricación y engrase se pretende evitar el desgaste de las piezas en contacto por la disminución del coeficiente de rozamiento de las mismas.

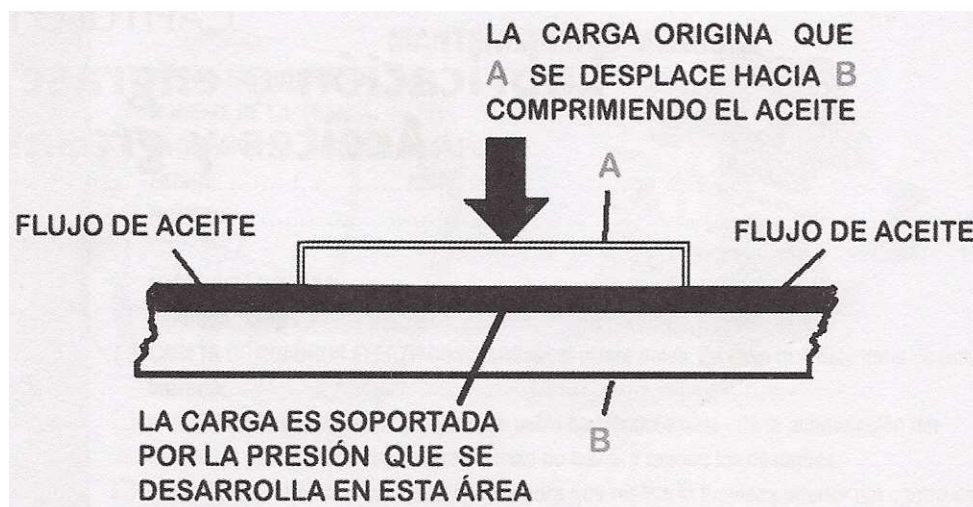


Ilustración 3.1 – Esquema de trabajo de una deslizadera

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Además, es importante enfriar las piezas en contacto, ya que el lubricante contribuye a un mejor equilibrio térmico; limpiar las zonas recorridas por el lubricante, mediante el arrastre en suspensión de las materias dañinas; proteger las piezas en contacto contra la oxidación y los agentes exteriores; y sellar el hueco entre 2 piezas produciendo el hermetismo necesario. Igualmente, tiene la misión de resistir al goteo de escurrimiento de las superficies a lubricar, aguantar los cambios de estructura o consistencia con el trabajo mecánico durante un prolongado servicio y no endurecerse excesivamente causando mayor resistencia de la debida al movimiento en tiempo frío.

Por último las grasas han de tener características físicas adecuadas al método de aplicación utilizado, ser compatibles con los sellos y otros materiales de construcción que se emplean en las partes de lubricación de los mecanismos y tolerar contaminantes en cierto grado, tales como la humedad, sin pérdida significativa de sus características.

3.2.1 ROZAMIENTO Y DESGASTE

Como primera consecuencia del rozamiento entre dos piezas aparece el desgaste; es decir; el arranque de partículas de las superficies durante el movimiento recíproco. El rozamiento es la fuerza generada por las piezas que se mueven en contacto, una con la otra.

Aunque las superficies parezcan pulidas, al observarlas al microscopio se aprecian los picos y grietas que estas poseen, es por ello que cuando se

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

desliza una pieza sobre otra, se genera una resistencia al movimiento. Y se ocasiona el desgaste.

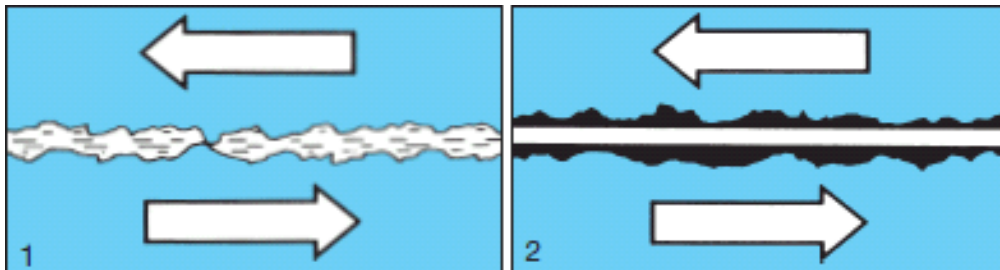


Ilustración 3.2 – Superficies en contacto. 1) Sin película de aceite 2) Con película de aceite

El rozamiento puede ser de dos clases; rozamiento de deslizamiento o fricción metálica, y el rozamiento de rodadura que se produce cuando una pieza rueda sobre otra.

En las machacadoras de mandíbulas los rodamientos son muy importantes y se debe prestar especial atención a su mantenimiento y lubricación, teniendo en cuenta que estos equipos están sometidos a esfuerzos de carga muy importantes, pudiendo hacer que se deformen y aumenten de temperatura, hasta el punto de poder llegar a soldarse piezas entre sí por una mala lubricación.

3.2.2 PARTES QUE SE LUBRICAN DE UN EQUIPO

Por complicada que sea una máquina, solo necesitarán lubricación 3 elementos de las mismas.

- Engranajes, ya sean rectos, helicoidales y de sinfín, estén abiertos o cerrados herméticamente.
- Cilindros, ya sean de motores, bombas, compresores, etc.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

- Cojinetes, independientemente del tipo que sean (bolas, rodillos, agujas, etc.) y son los puntos a engrasar de las machacadoras de mandíbulas. Estos van situados en el eje excéntrico de las mismas.



Ilustración 3.3 - Rodamiento



Ilustración 3.4 - Engranajes

3.2.3 NORMAS DE APLICACION

Las tareas de lubricación y engrase han de ser consideradas como prioritarias e importantes, se han de realizar siguiendo unas pautas muy rigurosas, cumpliendo los tiempos de engrase, cantidad y tipos de lubricante correcto y nunca se realizará el engrase dentro de las revisiones habituales de los equipos.

En la figura 3.5 se aprecia como afecta la

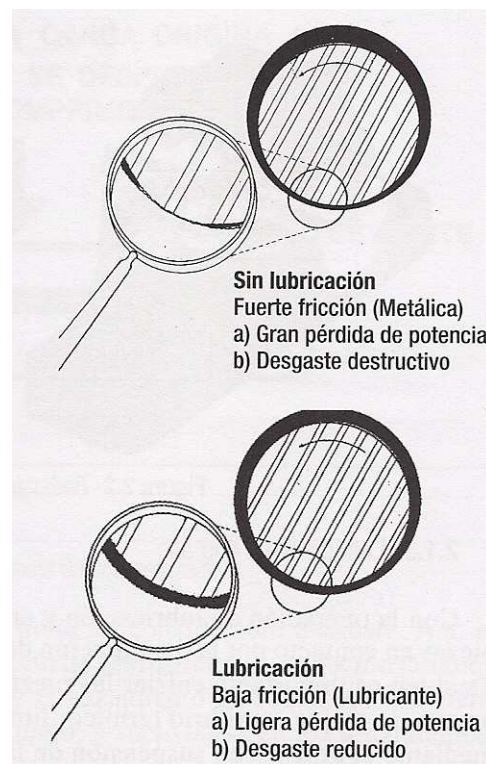


Ilustración 3.5 – Efectos de la lubricación

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

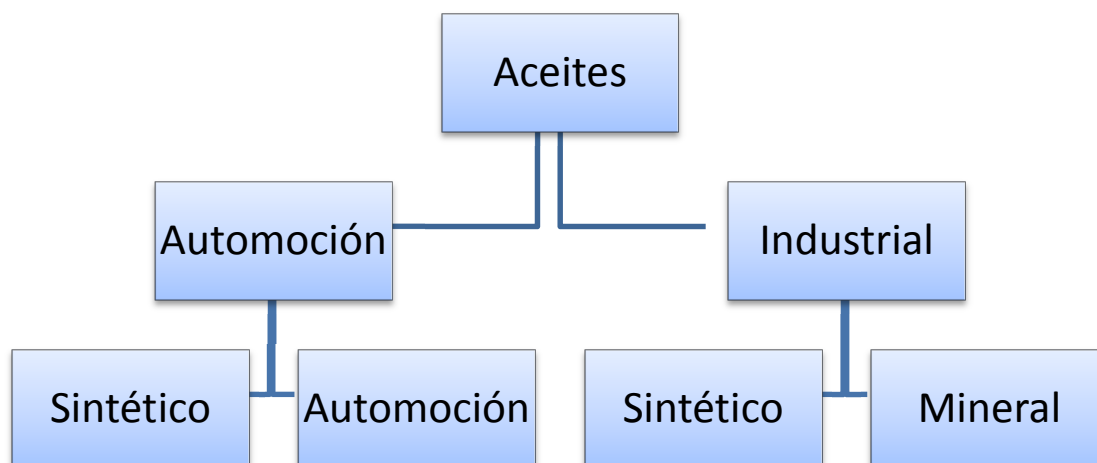
José Francisco Carpena Ortega - UPCT

falta de engrase, que además del desgaste por la fuerte fricción metálica, se produce una pérdida de potencia del equipo.

Si por el contrario el engrase es el adecuado, las pérdidas de potencia o los desgastes estarán dentro de los límites estipulados por el fabricante y el funcionamiento del equipo será el adecuado.

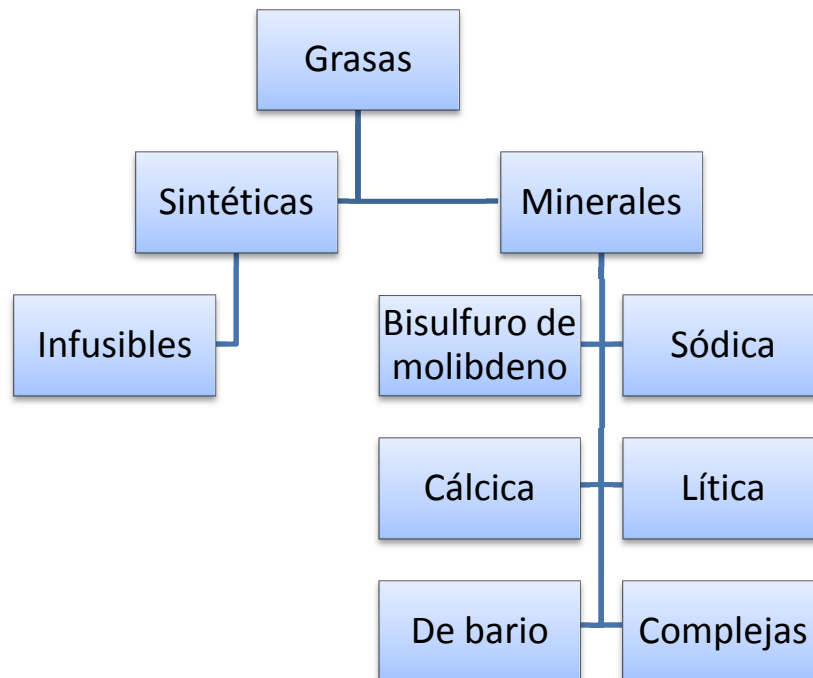
3.2.4 CLASIFICACIÓN DE LOS LUBRICANTES

Los lubricantes que actualmente se comercializan en el mercado se dividen en aceites y grasas. Vemos un esquema de la clasificación de cada uno de ellos.



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT



En este proyecto se realiza un estudio más exhaustivo de las grasas, dejando un poco de lado a los aceites, que a pesar de su gran cantidad de usos, no son empleados en las machacadoras de mandíbulas y sí las grasas, que son de vital importancia para asegurar el correcto funcionamiento de los rodamientos de las mismas.

3.2.5 GRASAS

Las grasas están formadas por la dispersión íntima de un jabón en aceite mineral.

La estabilidad de una grasa está basada en la propiedad que tiene el jabón de actuar como soporte o esponja del aceite base, sin que interfieran sus naturalezas físico-químicas. Las grasas se utilizan para lubricar ciertas partes o mecanismos donde no se puede mantener comprendido un fluido.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Las grasas se clasifican en función de la naturaleza del jabón que sirve de base, dependiendo la elección de un tipo de grasa u otra de una serie de características, que más adelante se verán.

Tipo de jabón	Resistencia al agua	Estabilidad al trabajo mecánico	Punto de goteo (0°C)	Temperatura de aplicación	Aplicaciones
Calcio	Buena	Regular	95-115	-10 – 70	Rodamientos, alta velocidad y baja carga
Sodio	Muy mala	Buena	150-230	0-120	Rodamientos, velocidad y carga media
Aluminio	Regular	Mala	95	0-80	Cadenas, cardan, engranajes
Litio	Buena	Buena	190	-20 – 125	Todos usos
Bario	Buena	Regular	-	0-180	Submarinas
Litio-calcio	Mala	Regular-Mala	150	0-120	Rodamientos
Gel de sílice	Mala	Mala	-	Alta temp	Alta temperatura sin fuertes cargas
Litio/aceite silicona	Buena	Buena	-	-	Alta temperatura. Todos usos

Tabla 3.1 – Clasificación de las grasas por su tipo de jabón

3.2.6 ESTABILIDAD DE LAS GRASAS AL TRABAJO MECÁNICO

La estabilidad mecánica de una grasa es una propiedad fundamental, si por los efectos cizallantes producidos por los rodamientos la grasa se hace líquida y se sale por los retenes, se produce la avería.

En la mayoría de las grasas jabonosas metálicas se produce una pérdida de consistencia al seccionar las fibras más largas del jabón, por tanto interesa que esta pérdida de consistencia sea pequeña.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Un ejemplo práctico es ver como varía el número NLGI o consistencia de una grasa cuando una máquina está sometida a un trabajo durante un periodo de tiempo de una jornada normal, si ese tiempo aumenta, el comportamiento de la grasa es diferente.

Nº N.L.G.I	Cifra penetración A.S.T.M. mm/10	Grado de dureza	Aplicaciones más usuales
000	445-475	Muy fluida	Engranajes
00	400-430	Fluida	Engranajes
0	355-385	Semi-fluida	Cojinetes/sistemas centralizados
1	310-340	Muy blanda	Cojinetes/sistemas centralizados
2	265-295	Blanda	Cojinetes
3	220-250	Media	Cojinetes
4	175-205	Dura	Cojinetes lisos/grasa en briquetas
5	130-160	Muy dura	Cojinetes lisos/grasa en briquetas
6	85-115	Durísima	Cojinetes lisos/grasa en briquetas

Tabla 3.2 – Grados de consistencia de las grasas según N.L.G.I.

A veces estos cambios en las propiedades físicas de una grasa son reversibles, de hecho se llama reversibilidad a la propiedad de una grasa de volver a adquirir sus propiedades iniciales después de estar sometida a un trabajo, es decir, cuando esta se enfríe.

Por tanto hay que tener en cuenta que un equipo que suele trabajar 10 horas al día y dadas las circunstancias de que tenga que trabajar 24 h oras, puede ser peligroso si el grado de dureza de las grasas baja demasiado, por tanto habría que realizar un mantenimiento más exhaustivo de los equipos.

3.2.7 NUMEROS NLGI DE LAS GRASAS

La penetración de las grasas ha sido clasificada por el Nacional Lubricating Grease Institute (NLGI) en una serie de números que cubren un amplio rango de consistencia.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Las consistencias que se utilizan con más frecuencia en cojinetes de rodillos o bolas son las 2 y 3.

Cuando se deba decidir la elección de una grasa, se deben de tener en cuenta una serie de factores.

El primero es el rango de consistencia que va en función del sistema que se va a utilizar en su aplicación (engrase centralizado, bomba manual o pistola de aire). Otro de los factores a tener en cuenta es la temperatura de su trabajo.

Siempre se recomienda adaptarse a un tipo de grasa que cumpla con ciertas características indicadas por el fabricante del equipo.

En la mayoría de los catálogos de los fabricantes de grasas se aportan unas tablas en las cuales aparecen los datos técnicos de las grasas y los aceites. Se muestran dos tablas a modo de ejemplo.

Denominación	Grado NLGI	Punto de gota °C	4 bolas carga de soldadura kg	Factor de velocidad	Temperatura de trabajo	Características y aplicaciones
Superlit-EP/2	2	208	400	500.000	500	Aplicable a rodamientos

Tabla 3.3 – Grasa de litio

Tipo	Denominación	Grado NLGI	Punto de gota °C	Factor de velocidad	Temperatura de trabajo	Características
Baja temperatura	ELESA-11	2	>250	1.000.000	-70 a 150	Rodamientos a altas velocidades

Tabla 3.4 Grasa sintética

3.2.8 CARACTERÍSTICAS DE LAS GRASAS

Las características más importantes que determinan una grasa son la reversibilidad, la pureza y el punto de fusión y punto de goteo.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

- Reversibilidad: propiedad que tienen algunas grasas de volver a su estado inicial al enfriarse, cuando por el efecto del calor se funden previamente.
- Pureza: es el porcentaje de residuo sólido que se encuentra en la grasa después de su combustión completa y debe ser inferior al 0.8%.
- Punto de fusión y punto de goteo: El punto de fusión es aquella temperatura a la cual empieza a fundirse una grasa. Por su parte, el punto de gota es la temperatura a la cual la grasa pasa del estado semilíquido al estado líquido.



Ilustración 3.6 – Máquina de penetración al cono

El punto de gota depende fundamentalmente del tipo de espesante, del proceso de fabricación y de los aditivos. En el ensayo que determina el punto de gota de una grasa se alcanzan los 300°C y la grasa no ha goteado, se dice que esa grasa no tiene punto de gota.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Lo importante del punto de gota es que sea suficientemente superior a la temperatura de trabajo del mecanismo donde será utilizada.

Como conclusión, entre grasas del mismo espesante, el punto de gota aumenta con el aumento de la consistencia.

3.2.9 EXTREMA PRESION DE UNA GRASA

El término extrema presión de una grasa o EP es una propiedad de la grasa y nos da el antidesgaste de una grasa aplicada a una serie de bolas de acero deslizante.

La máquina del ensayo consta de una cápsula en la que se introducen 3 bolas normalizadas de acero de 12.7 mm de diámetro, estas bolas están cubiertas por la grasa a ensayar, la capsula está influenciada por un brazo sobre el cual pueden aplicarse cargas de diferentes valores, al conjunto se le añade una cuarta bola sujeta a un mandril de un eje giratorio, el conjunto de 4 bolas formará un tetraedro.

Con la grasa a 27°C se hace rotar la bola superior a 1700 rpm en periodos de 10 segundos e incrementando de carga, cada vez mayores hasta que se produzca soldadura.

Después de cada serie de 10 segundos se miden los diámetros de las huellas dejadas en las 3 bolas inferiores.

3.2.10 ELEMENTOS DE ENGRASE

Se puede hablar de engrase, de los distintos tipos de grasa y de las características de las mismas, pero además, resulta imprescindible hablar de los elementos de engrase como puede ser una simple aceitera, una bomba de engrase manual o un sistema de engrase centralizado automático.

3.2.10.1 ENGRASE MANUAL

Es el sistema más rudimentario y cada vez menos utilizado, ya que requiere tiempo para las aplicaciones, se presta al malgasto, es dependiente de la posible negligencia del operario y puede exigir el paro de la máquina.

Como elemento de engrase manual está la bomba clásica que es fácil de usar y puede ser utilizada por un solo operario. Existen modelos de diferentes capacidades, desde 300 cc a 1000 cc.

En lugares donde existen varios puntos de engrase y la zona de llenado de grasa quede retirada, se utilizan bombas de grasa de cartucho, que son más limpiar y aprovechan mejor la grasa, pero con la contra de que requieren de 2 operarios en su manejo y transporte.



Ilustración 3.7 – Bomba de grasa manual



Ilustración 3.8 – Bomba de grasa de pie

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

3.2.10.2 ENGRASE AUTOMATICO

Si el número de puntos a engrasar de una máquina es elevado y la frecuencia de engrase es alta, esta tarea se puede volver engorrosa además de que seguramente en muchos casos será necesario parar la máquina, es por esto que en estos casos la lubricación se suele realizar con un sistema automático centralizado.

El equipo de engrase automático está formado básicamente por una bomba provista de un depósito de unos 4 kg de capacidad, un distribuidor, un conjunto de tubos que van a los diferentes puntos de engrase y un colector donde van los tubos flexibles y rígidos del distribuidor.



Ilustración 3.9 – Sistema centralizado de engrase

El sistema puede llevar un botón de marcha forzada para realizar el engrase de forma rápida en modo manual, este sistema es cada vez más utilizado en las machacadoras de mandíbulas por la optimización del mantenimiento que conlleva.

Las canalizaciones de un sistema automático centralizado son de pequeño diámetro, por lo que exigen grasas muy blandas y estables a altas presiones.

3.2.10.3 ENGRASADORES, BOQUILLAS DE ENGRASE Y LATIGUILLOS FLEXIBLES

Engrasadores

Los engrasadores son unos elementos metálicos que se colocan en los equipos móviles de las diferentes máquinas que precisan de engrase. Pueden ser curvos de 45° o 90° o rectos para poder adaptarse en cada caso de la mejor manera y facilitar el engrase en los puntos donde van ubicados.



Ilustración 3.10 - Engrasadores

Estos elementos están normalizados y a la hora de pedir engrasadores nuevos para nuestro equipo, existen unos útiles llamados identificadores de roscas de engrasadores que facilitan la elección del engrasador,

aunque siempre se puede realizar esta medición con un calibre y un juego de calibradores de roscas.

Boquillas de engrase

Estos elementos son fundamentales en las labores de engrase de las máquinas, su misión es inyectar la grasa a los engrasadores, por ello existen boquillas de diferentes formas y tamaños adaptados a cada tipo de engrasador, las boquillas de engrase van acopladas con los latiguillos flexibles con



Ilustración 3.11 – Boquilla de engrase

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

acoplamiento roscado en los extremos.

Latiguillos flexibles

Los latiguillos flexibles tienen la misión de transportar la grasa desde la bomba hasta las boquillas de engrase, estas pueden ser de tipo A, B o C y cada uno se adapta a un tipo de boquilla diferente.



Ilustración 3.12 – Latiguillos flexibles

3.2.11 GUÍA PARA LA RESOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS DE LUBRICACIÓN CON GRASAS.

Para la resolución de muchos problemas que se ocasionan dentro de los equipos móviles de las instalaciones de áridos causados por deficiencia en el engrase, se adjunta una tabla con los síntomas de avería, posibles causas que las ocasionan y solución a las mismas.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

APLICACIÓN	SINTOMAS	POSIBLE CAUSA	INSPECCIONAR	
(se asume que los rodamientos están en correcto estado) Contacto rodante	Ruido	Condiciones del rodamiento	Rodamiento desgastado o con corrosión	
	Alta temperatura del rodamiento	Exceso de engrase	Reengrase demasiado frecuente Rodamiento empacado demasiado lleno Demasiada carga de grasa para el servicio	
		Desengrasado	Frecuencia de reengrase insuficiente	
		Producto incorrecto	Viscosidad del aceite base incorrecto Deficientes características E.P	
		Cierres	Daño mecánico en cierres Instalación incorrecta	
	Excesivo escape de grasa	Exceso de engrase	Reengrase demasiado frecuente Excesiva cantidad aplicada	
		Producto incorrecto	Grasa demasiado blanda para el servicio o la grasa se ha ablandado durante el trabajo	
		Incompatibilidad de la grasa	Mezcla incorrecta de la grasa	
	(se asume que los rodamientos están en correcto estado) Contacto rodante	Frecuente sustitución del rodamiento	Excesivo desgaste	Baja capacidad de carga Falta de engrase Contaminación, polvo y herrumbre Excesiva la vida normal del rodamiento Mala instalación Grasa demasiado dura
			Alta temperatura	Alta temperatura de trabajo
Mal alineamiento			Corregir alineamiento	
Mala distribución			Grasa demasiado dura	
Tipo plano		Sobrecalentamiento	En el rodamiento	Incorrecto surco
	Falta de engrase		Reengrase infrecuente Lubricador defectuoso/taponado	
	Grasa incorrecta		Estabilidad mecánica de la grasa en servicio	
	Excesivo desgaste	Falta de reengrase	Reengrase infrecuente Lubricador defectuoso/taponado	
		Grasa incorrecta	Inadecuada capacidad de la grasa	
			Rango de temperatura de uso de la grasa	

Tabla 3.5 – Guía de resolución de problemas de lubricación para cojinetes

3.3 RODAMIENTOS

Los rodamientos son elementos de acero aleado con cromo, manganeso y molibdeno, sometidos a rigurosos tratamientos térmicos para obtener piezas de gran resistencia al desgaste y a la fátiga.

Los rodamientos son elementos que permiten el movimiento entre piezas o elementos mecánicos.

La mayoría de los rodamientos están formados por anillos, uno exterior y otro interior, siendo los elementos rodantes bolas o rodillos que, por lo general, son retenidos en una jaula, que los separa, dándoles un intervalo de distancia a los elementos rodantes y los mantiene dentro de la pista interna y externa y, por lo tanto, permitiendo que giren libremente.



Ilustración 3.13 – Despiece de un rodamiento de bolas

Cada tipo de rodamiento tiene unas propiedades características que lo hacen particularmente adecuado para ciertas aplicaciones.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Las dimensiones de los rodamientos están normalizadas, lo cual asegura su intercambiabilidad dimensional.

Generalmente la dimensión del diámetro del agujero viene determinada por la de las características del diseño de la máquina a la que va destinado, en el caso de machacadoras de mandíbulas será el diámetro del eje excéntrico.

Existen en el mercado varios programas específicos que permiten al proyectista seleccionar el más adecuado en cuestión y que mejor se adapte a sus necesidades particulares.

3.3.1 TIPOS DE RODAMIENTOS

En el mercado existen multitud de rodamientos, con distintos tamaños y formas, cada modelo con unas propiedades y características que lo hacen adecuado para cada tipo de aplicación.

Los factores principales a la hora de elegir un rodamiento son la carga a soportar y dirección de la misma, además del espacio disponible de rodamiento.

Los rodamientos de bolas soportan cargas moderadas, los de rodillos cilíndricos se manejan mejor con las cargas axiales y los rodamientos axiales de rodillos a rótula cargas axiales muy elevadas y radiales de cierta magnitud.

También el rodamiento debe absorber la posible desalineación del eje con respecto del soporte, provocado normalmente por flexión del eje.

La velocidad de rotación de un rodamiento viene determinada por la temperatura máxima de funcionamiento permitida, para alter velocidades de

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

rotación se utilizan rodamientos de bajo rozamiento que dan lugar a una escasa generación de calor.

La deformación elástica o rigidez de un rodamiento cargado suele ser despreciable.

En el siguiente apartado se hace una descripción de los rodamientos de rodillos a rótula, que son los utilizados en las machacadoras de mandíbulas, aunque existen otros como los rodamientos rígidos de bola, rodamientos de bolas a rótula, rodamientos de bolas con contacto angular, rodamientos de rodillos cilíndricos, rodamientos axiales de rótulas, rodamientos de rodillos cónicos, etc.

3.3.2 RODAMIENTOS DE RODILLOS A ROTULA

Estos rodamientos tienen dos hileras de rodillos que ruedan sobre un camino de rodadura esférico común en el aro exterior. Cada uno de estos caminos del aro interior está inclinado formando un ángulo con el eje del rodamiento. Estos rodamientos soportan cargas radiales y axiales y se suministran en el mercado con los diseños CC, CAC y CA.



Ilustración 3.14 – Rodamiento de rodillo a rótula



Ilustración 15 – Rodamiento de rodillo a rótula

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Los rodamientos CC llevan dos jaulas de chapa embutida, tipo ventana de acero o de latón, en este tipo de rodamiento las cargas verticales son mayores que las axiales, generando desviaciones de 45° en ambos sentidos, por lo que se limita su uso en cribas o equipos de movimientos dinámicos.

Los diseños CAC y CA tienen jaula mecanizada de acero de latón de una sola pieza, así como pestañas de retención en el aro exterior, en ellos el rozamiento es menor y por lo tanto mayor el límite de velocidad si se compara con los de tipo CC.

3.3.3 SOPORTES PARA RODAMIENTOS SN Y SD

En las machacadoras de mandíbulas se suelen instalar soportes completos con sus rodamientos por ser el conjunto económico, rápido de sustituir y de fácil mantenimiento.

En este tipo de soporte, las tolerancias del mecanizado del asiento del rodamiento en el soporte son tales que queda asegurado un



Ilustración 3.16 – Soporte para rodamiento SN

ajuste flojo del aro

excéntrico y, en la mayoría de los casos, el ancho del asiento deja a los rodamientos libres axialmente. De esta forma, la dilatación del eje y de los

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

pequeños errores dimensionales y de posicionamiento en montaje pueden ser absorbidos en el mismo soporte. Mediante el empleo de los anillos guía se puede conseguir la fijación axial del rodamiento, si el rodamiento se va a montar sobre manguito de fijación y solo se va a emplear un anillo. Este se colocará al lado del rodamiento, donde está la tuerca de fijación, para lo cual el rodamiento se desplaza de su posición central una distancia igual a la mitad del ancho del anillo guía.

Los soportes de pie de los tipos SN y SD son los más comunes; los del tipo SN se fabrican con diámetros de 20 a 140 mm, mientras que los soportes SD desde 150 mm en adelante.

Llevar además un soporte de obturación para que no se salga la grasa y no entre polvo al rodamiento.

3.3.4 FIJACION RADIAL DEL RODAMIENTO

Los aros de los rodamientos deben quedar apoyados en toda la circunferencia y en todo el ancho del camino de rodadura, para aprovechar al máximo su capacidad de carga. El apoyo ha de ser firme y uniforme y se puede conseguir mediante un asiento cilíndrico o cónico o en el caso de las arandelas de los rodamientos axiales, mediante una superficie de apoyo plana.

Los asientos de los rodamientos deben tener una precisión adecuada.

Los aros del rodamiento deben quedar montados de manera fiable para evitar que giren en sus asientos.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Una fijación radial satisfactoria y un apoyo adecuado se obtienen si los aros están montados con una interferencia apropiada, si los aros están fijados inadecuadamente se suelen dañar los rodamientos y los componentes adyacentes.

Si el deslizamiento es inevitable, para minimizar el desgaste se toman medidas como el endurecimiento de la superficie del asiento y los resaltes de los mismos, la lubricación de la superficie de los mismos por medio de ranuras especiales de lubricación y la eliminación de las partículas de desgaste.

Las tolerancias de montaje deben mantenerse dentro de unos límites, ya que la precisión afecta directamente a la exactitud de giro del rodamiento.

Los ejes suelen mecanizarse a unas tolerancias h9 y una cilindridad IT5/2, siguiendo la normativa ISO 1101:2004.

La circunferencia de las tuercas de fijación KM es ranurada con dos caras planas diametralmente opuestas en todas las tuercas con un tamaño inferior o igual a 15.

Existen diferentes tipos de llaves dependiendo del tamaño de la tuerca, una vez apretadas hay que utilizar las arandelas de retención para dejar fijar la tuerca y que no



Ilustración 3.17 – Empleo de las llaves de fijación

se afloje, y como consecuencia de ello lo haga el rodamiento.

Las llaves de fijación de la tuerca deben cumplir la normativa DIN 1810:1979.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

En el caso de que sea necesario corregir cualquier desalineación entre las superficies de apoyo de la tuerca y el componente adyacente, el prisionero en el lado con mayor desviación deberá aflojarse primero y deberán apretarse los otros dos tornillos en el mismo grado, luego el prisionero se volverá a apretar, repitiendo este proceso hasta conseguir la precisión adecuada que se comprobará con un reloj comparador.

Los anillos obturadores protegen contra las impurezas, las salpicaduras de agua y la pérdida excesiva de grasa. Son relativamente fáciles de instalar ya que van montados a presión.



Ilustración 3.18 – Tuerca y arandela de fijación KM

3.3.5 INFORMACION DE LAS MEDIDAS DE UN RODAMIENTO

Para conocer las medidas de un rodamiento hay que saber que los dos últimos dígitos multiplicados por 5 dan el diámetro interior, conocido el diámetro se divide entre 5 y se obtiene la terminación de la pieza.

Hay que ver el diámetro exterior y el ancho del rodamiento.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Ejemplo:

Rodamiento 6305 $\rightarrow 05 \times 5 = 25 \rightarrow$ Diámetro interior de 25 mm.

6320 $\rightarrow 20 \times 5 = 100 \rightarrow$ Diámetro interior de 100 mm.

Se adjunta tabla de medidas de rodamientos más comunes.

Interior	Exterior	Ancho	Rodamiento	Velocidad máxima con grasa
10	30	9	6200	24000
10	35	11	6300	22000
12	32	10	6201	22000
12	37	12	6301	20000
15	35	11	6202	20000
15	42	13	6302	17000
17	40	12	6203	17000
17	47	14	6303	15000
20	47	14	6204	15000
20	52	15	6304	14000
25	52	15	6205	13000
25	62	17	6305	11000
30	62	16	6206	11000
30	72	19	6306	9600
35	72	17	6207	9200
35	80	21	6307	8500
40	80	18	6208	8300
40	90	23	6308	7700
35	85	19	6209	7700
35	100	25	6309	6800

Tabla 3.6 – Medidas de rodamientos más comunes

3.3.6 INFORMACION DE LOS SUFIJOS DE LOS RODAMIENTOS

La mayoría de los técnicos relacionados con equipos mecánicos y con la gestión de los pedidos de rodamientos de una instalación de áridos y minerales, trabajan con una serie de números y letras que hacen referencia a cada tipo de rodamiento.

En la tabla 3.7 podemos ver sufijos de los principales fabricantes de rodamientos.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Un ejemplo de un rodamiento FAG con referencia 22336-EASKM C3/FAG significa:

El 223, es la serie del rodamiento de rodillos, los últimos dígitos (36) se multiplican por 5 y dan el diámetro interior.

En cuanto a los sufijos de la firma FAG; E, indica ejecución reforzada, S ranura de lubricación, k rodamiento cónico, M jaula de bronce y C3 juego radial.

	FAG	SKF	SNR	NSK
Ejecución reforzada	E	E	E	E
Jaula de poliamida	TNH, TVH, TVP	TN, TN9, CP	G14, G15, A	H, TNG, T
Ranura de lubricación	S	W33	B33	E4
Blindaje de goma	RSR, 2RSR	RS1, 2RS1	E, EE	DD, VV
Blindaje de chapa	Z, ZR, 2Z, 2ZR	Z, 2Z	Z, ZZ	Z, ZZ
Juego radial:				
Menor que el normal	C2	C2	J20	C2
Menor que C2	C1	C1	J10	C1
Mayor que el normal	C3	C3	J10	C3
Mayor que C3	C4	C4	J40	C4
Agrupamiento de sufijos	EA SM C3	MB W33 C3	F107 (MB B33J30)	CD C3 S11
Jaula de acero	JP1	J	A50, G13, G28	W
Jaula de latón o bronce	MA, MB	MB	M, MA, MB	M
Apareamiento universal para rodamientos de bolas de contacto angular	BG	BG	BG	DB

Tabla 3.7 – Sufijos utilizados por 4 fabricantes de rodamientos

3.3.7 LUBRICACION INICIAL A UN RODAMIENTO NUEVO

La lubricación de un rodamiento nuevo durante su montaje es esencial para que la duración de este sea la adecuada. Es imperativo tener una lubricación satisfactoria desde las primeras vueltas del rodamiento. En el caso de lubricar con grasa, hay que cerciorarse de que la grasa ocupe bien todo el volumen disponible y en particular el espacio comprendido entre la jaula y el anillo

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

interior. Las grasas que se deben de utilizar deben de ser homologadas por el fabricante de los rodamientos y además, se debe tener en cuenta el tipo de trabajo que se va a realizar con su montaje.

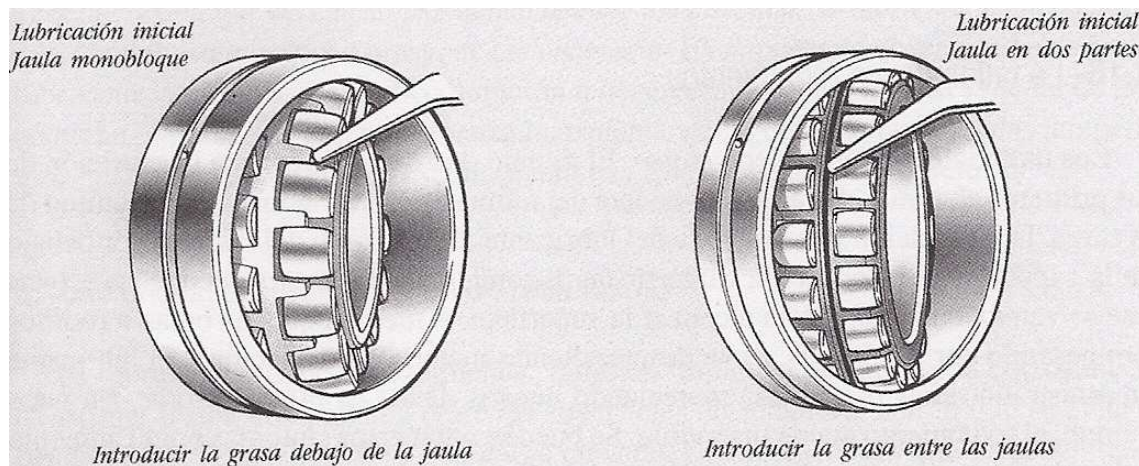


Ilustración 3.19 – Lubricación de un rodamiento nuevo

3.3.8 LIMPIEZA DE RODAMIENTOS SUCIOS

Para limpiar los rodamientos se puede utilizar gasolina de lavado, petróleo, alcohol de quemar y detergentes acuosos neutros o alcalinos. Hay que tener en cuenta que la gasolina de lavado, el petróleo y el alcohol de quemar son inflamables y los agentes alcalinos son cáusticos.

Los hidrocarburos clorados corren el peligro de ocasionar incendios, explosiones y descomposiciones; además, son nocivos para la salud.

Para limpiar los rodamientos pueden usarse pinceles, cepillos o trapos no deshilachados. Después del lavado y la evaporación del detergente fresco, debe evitarse la corrosión en los rodamientos protegiéndolos inmediatamente.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Si los rodamientos contienen residuos resinosos de aceite o grasa, se recomienda una limpieza previa mecánica y un remojo en un detergente acuoso altamente alcalino.

3.3.9 ALMACENAJE DE LOS RODAMIENTOS

El tiempo permisible de almacenamiento no debe tomarse como un límite rígido. Como compuestos de aceite, espesantes y aditivos, la grasa puede cambiar sus propiedades físico-químicas durante el almacenaje y, por lo tanto, deben utilizarse lo antes posible.

Bajo un almacenaje cuidadoso, es decir, observando todas las condiciones descritas: baja temperatura y envases llenos y herméticos, la mayoría de las grasas pueden utilizarse incluso después de 5 años, si se aceptan pequeños cambios.

Deben evitarse elevadas temperaturas y envases prácticamente llenos, porque se facilita la separación del aceite básico. En caso de duda, debe inspeccionarse si se han modificado las propiedades físico-químicas. Bajo demanda, los fabricantes pueden ayudar a juzgar el riesgo de largos periodos de almacenaje o el uso de grasas viejas.

Cuando se vayan a almacenar envases abiertos, deberá nivelarse la superficie de la grasa, tapar el envase herméticamente y almacenarlo con el espacio vacío hasta arriba.

3.3.10 LA FATIGA DE LOS RODAMIENTOS

Los materiales se fatigan con el uso. El tiempo que transcurre hasta la aparición de los primeros síntomas de fatiga dependerá del número de revoluciones, la magnitud de la carga, la lubricación y la limpieza del lubricante. Con el paso del tiempo, por debajo de la superficie que soporta la carga (pistas), comienzan a formarse pequeñas grietas que se van extendiendo hasta alcanzar la superficie. A medida que las bolas o rodillos van pasando por las grietas, se va desprendiendo material (exfoliación). El lubricante va arrastrando esas partículas, apareciendo nuevos daños en otros sectores. En poco tiempo, el rodamiento queda

inservible. Se pueden notar estos síntomas por el aumento del ruido y las vibraciones. Este es el momento justo para cambiar el rodamiento, antes de que se produzca la falla total, con riesgo de rotura de otros elementos.

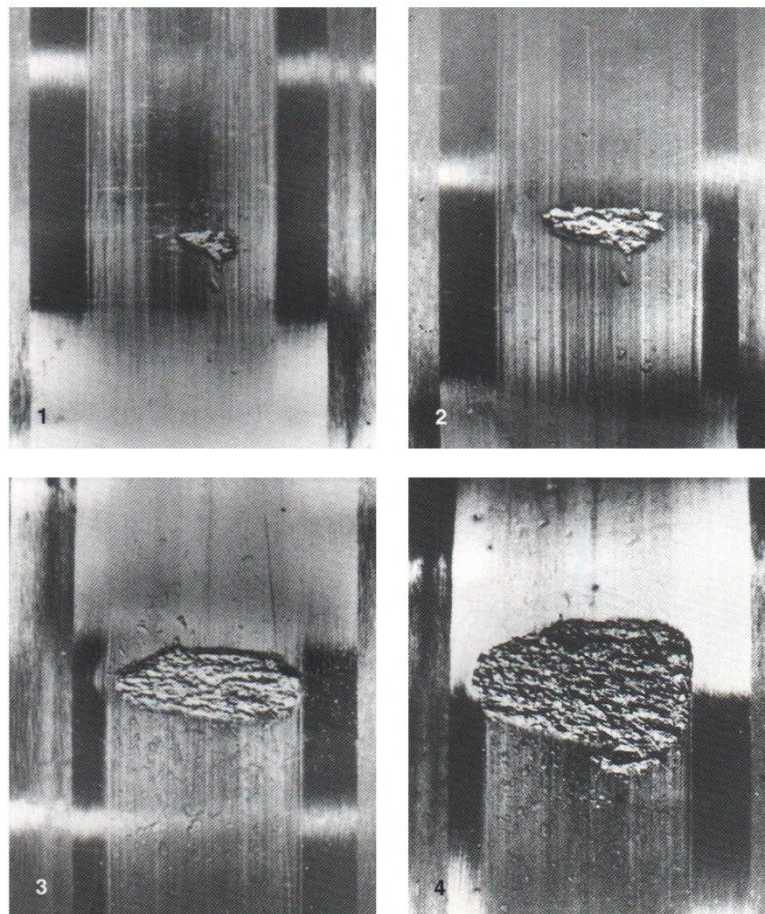


Ilustración 3.20 – Efectos de fatiga en la pista de un rodamiento

3.3.11 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE UN RODAMIENTO

Los equipos actuales en las explotaciones de áridos y minerales trabajan en su mayoría en condiciones críticas o en entornos muy severos. Los rodamientos son el centro de atención del mantenimiento preventivo, por constituir un factor vital en cualquier maquinaria con partes giratorias. Es obvio que resulta más económico cambiar un rodamiento en una parada de mantenimiento programada con anticipación, que verse obligado a parar la máquina y, por ende, la producción de forma imprevista. Si bien hoy en día se cuenta con instrumental muy preciso para detectar problemas en general en base a medición de vibraciones o temperaturas, no siempre se disponen en tiempo y forma a la hora de tomar estas lecturas; por lo tanto, es fundamental que el operador esté alerta y sepa reconocer los primeros síntomas. Escuchar, tocar y mirar son tres factores importantes:

Escuchar: Los rodamientos en buenas condiciones de funcionamiento emiten un suave zumbido. En cambio, pueden chirriar como consecuencia de una lubricación inadecuada. Si no tiene juego interno suficiente, puede producir un sonido metálico. Si los ruidos son intermitentes, seguramente el daño está en los elementos rodantes. El sonido se produce cuando la superficie dañada roza. Si el daño es severo, se escuchará un sonido fuerte e irregular.

Tocar o tomar con el termómetro digital o el láser las temperaturas, en ambos lados de la máquina, anotándolas, si estas son altas, generalmente indican que el rodamiento no está funcionando de manera normal. Se puede deber a la falta o exceso de lubricante, impurezas en el lubricante, sobrecargas, desalineaciones, falta de holgura, etc.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Mirar: se debe comprobar visualmente, cada vez que sea posible, el estado del rodamiento y de las obturaciones cercanas (retenes y blindajes). Se debe verificar que los retenes, los fieltros y obturaciones de los soportes estén bien engrasados. Cambiar rápidamente los que se vena gastados. Si se nota una fuga de grasa o aceite, inmediatamente investigar las causas. Se deben revisar los sistemas de lubricación automática, rellenándolos con aceite o grasa, de ser necesario. Es importante observar el estado del lubricante, ya que cualquier decoloración u oscurecimiento del mismo es señal de que contiene impurezas o que ha comenzado a quemarse la grasa por las elevadas temperaturas de los rodamientos. En ese momento hay que averiguar el problema.

3.3.12 FUNCIÓN DEL LUBRICANTE EN UN RODAMIENTO

El lubricante reduce el rozamiento. También impide el desgaste y la corrosión.



Ilustración 3.21 – Rodamiento engrasado

El lubricante forma una película entre las superficies de rodadura, con lo que se evita el contacto metal-metal, incluso con carga elevada. Las propiedades que se deben tener en cuenta a la hora de seleccionar un lubricante son,

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

fundamentalmente, la viscosidad (aceite) y la consistencia (grasa). La viscosidad es la facilidad con la que fluye un líquido. La consistencia es el grado de rigidez de una grasa. De acuerdo a las características del lugar donde se va a aplicar, a la temperatura, a la carga, a la velocidad, etc., será la elección que se haga. El 90% de los rodamientos son lubricados con grasa ya que requiere un sistema más sencillo y barato, tienen mejor adhesión y protección contra la humedad y los contaminantes del ambiente de trabajo. Sin embargo, cuando la velocidad es muy elevada o cuando es necesario evacuar el calor del rodamiento, se prefiere el aceite

3.4 POLEAS

3.4.1 INTRODUCCION

Las poleas son una máquina simple que consiste en una rueda con un canal o canales en el borde, por los cuales se hace pasar una cuerda, cable o correa. Las poleas son utilizadas para cambiar la dirección de una fuerza, para amplificar una fuerza o para transmitir el rodamiento de rotación a otras poleas variando la velocidad angular.



Ilustración 3.22 – Diferentes tipos de poleas

Las poleas requieren una adecuada calidad en su tratamiento mecánico, para que se garantice una marcha tranquila de la transmisión, equilibrado y tolerancias dimensionales, además de un acabado específico en la superficie en contacto con las

corres para evitar su abrasión, el mecanizado de las gargantas además, debe asegurar a las correas un buen reparto de la carga y un ya mencionado desgaste mínimo.

3.4.2 TIPOS DE POLEAS

Las poleas son unos de los elementos más utilizados a la hora de conectar dos equipos que estén sometidos a cambio de revolución, por su practicidad,

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

eficiencia y seguridad, por esto es que son los elementos utilizados en las machacadoras de mandíbulas, ya que estos equipos generan vibraciones, cambio de velocidades etc., que son absorbidos por las correas de transmisión. Las poleas más usadas son de función gris siguiendo las pautas de la norma DIN 1961.

Independientemente de la norma DIN y otras normas internacionales la polea maciza se puede acoplar a cualquier eje no estandarizado y se pueden mecanizar al diámetro que se necesite.

También se suministran perforadas, con taladros determinados, con casquillo de sujeción o polea de radios, utilizadas donde el peso es un factor importante.

Las poleas acanaladas, que son las utilizadas en las machacadoras de mandíbulas se montan con un diámetro

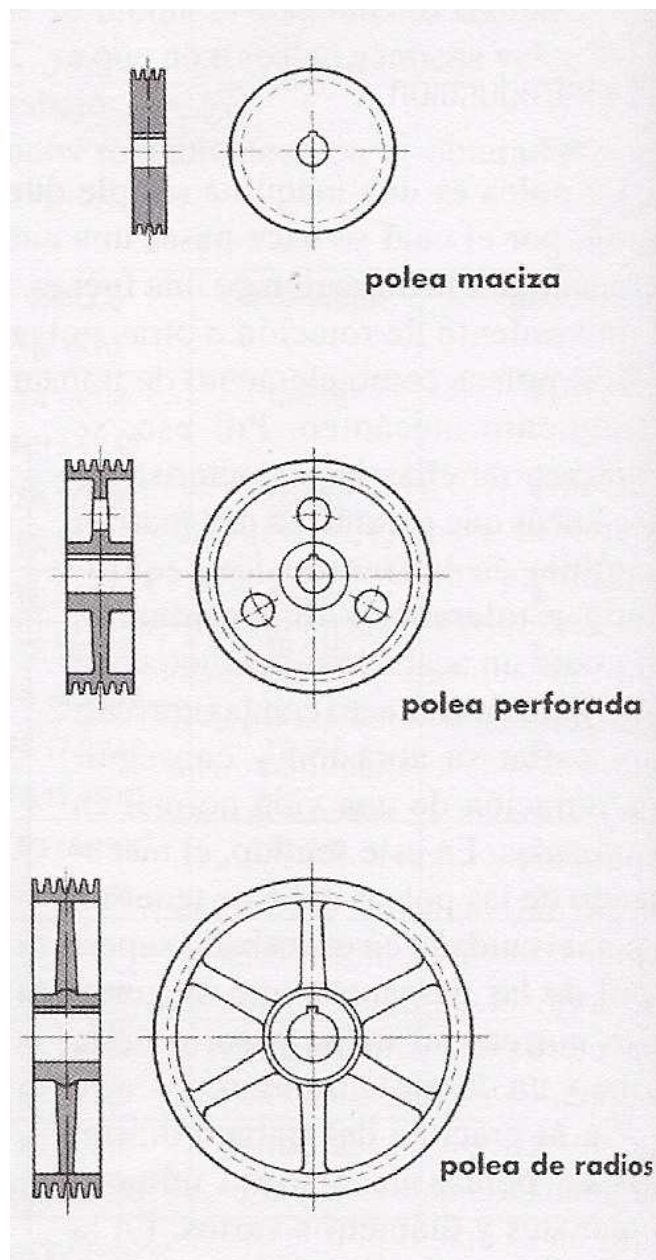


Ilustración 3.23 – Tipos de poleas

estándar, y si esto no fuera posible, se elegiría al

menos la siguiente más grande con diámetro estandarizado, nunca se pondrá

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

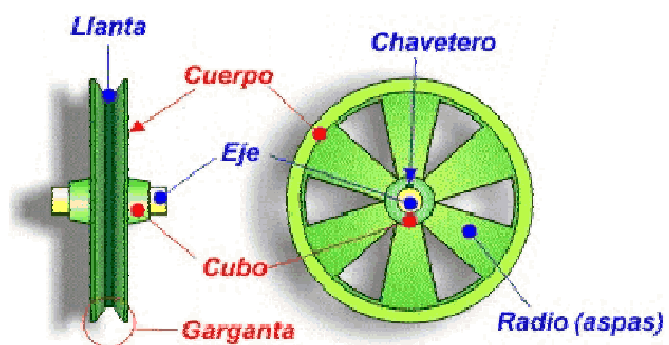
José Francisco Carpena Ortega - UPCT

una polea más pequeña a la adecuada, ya que se reducirá la vida útil de la correa.

Las poleas deben venir de fábrica equilibradas según las dimensiones y el tipo de trabajo, tanto de forma estática como dinámica.

3.4.3 POLEAS TRAPECIALES

Las poleas son ruedas que tienen el perímetro exterior diseñado especialmente para facilitar el contacto con la



correa. En las poleas se distinguen 3 partes; cuerpo, cubo y garganta.

Ilustración 3.24 – Partes de una polea

El cubo es la parte central que comprende el agujero, que permite aumentar el grosor de la polea para aumentar su estabilidad sobre el eje, el cubo suele incluir un chavetero que facilita la unión de la polea con el eje.

La garganta o canal es la parte que está en contacto con la correa y que está diseñada para conseguir el mayor agarre, la parte más profunda recibe el nombre de llanta y su forma más empleada es la trapezoidal.

El cuerpo es la parte que une el cubo con la garganta, en algunos tipos de poleas está formado por radios o aspas para reducir peso y facilitar la ventilación.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Las poleas trapeciales se pueden reconocer por el perfil de la correa para cual son adecuadas, por el número de correas y por el diámetro primitivo.

En la siguiente tabla vemos como un mismo canal puede servir para 2 tipos de correas diferentes, aunque en este caso la correa SPZ podrá transmitir mayor potencia.

Perfil	Correa trapezoidal		Canal trapecial
	ZPZ	Z/10	SPZ – Z/10
Ancho superior	$b_0 = 9,7$	$b_0 = 10$	$b_1 = 9,7$
Ancho estándar	$b_d = 8,5$		$b_d = 8,5$
Altura de correa/ profundidad de la ranura	$h = 8$	$h = 6$	$t_{min} = 11$

Tabla 3.8 – Perfil de polea

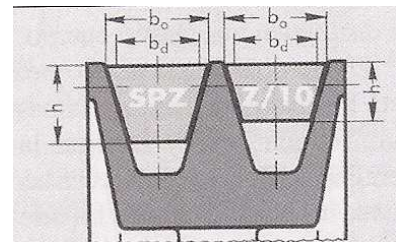


Ilustración 3.24 – Perfil de una polea trapecial

A la hora de seleccionar polea y correa se han de tener en cuenta los tamaños de ranura de la parte superior e inferior de la polea y las mismas dimensiones de la correa. Se muestra un ejemplo de polea con canales estándar y canales profundos, estos últimos se emplean para condiciones especiales de transmisiones, como ejemplo el uso de poleas guía, cruzamientos y accionamientos sometidos a fuertes vibraciones.

Las ranuras de las poleas son determinantes en la transmisión de potencia, la profundidad de las poleas trapeciales mejora la marcha de las correas imposibilitando casi al 100% que se produzca el giro y salida de la correa fuera de la polea.

3.5 CORREAS TRAPECIALES

3.5.1 CONCEPTOS GENERALES

La sección de una correa trapezoidal tiene forma de trapecio y se compone esencialmente de dos partes, Una que es el tejido de recubrimiento que tiene gran resistencia al desgaste, gran flexibilidad, resistencia a la abrasión y a las vibraciones teniendo además, que proporcionar perfecta adherencia a las paredes de las gargantas y poleas y otra, la cuerda a la tracción estándar de todos los perfiles y secciones (SPA, SPB, SPC, etc.), que está hecha de poliéster de alta calidad. Durante el proceso de fabricación, el hilo es impregnado y se pulveriza con una mezcla de goma especial de forma que se consigue una unión homogénea con el núcleo y con el soporte de caucho. El tejido de recubrimiento se trata con una mezcla de gomas resistentes a la abrasión, consiguiendo gran resistencia a los aceites y al frío, así como insensibilidad frente al polvo, proporcionando además una perfecta adherencia a las paredes de las gargantas de las poleas.

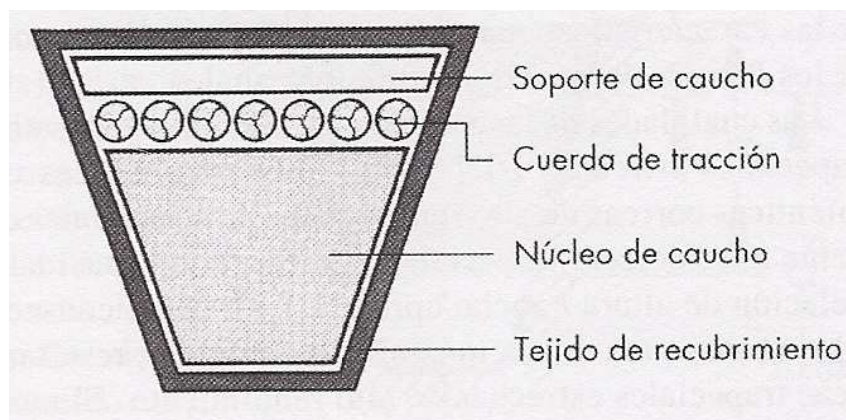


Ilustración 3.25 – Sección de una correa trapezoidal

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Las correas trapeciales transmiten exclusivamente la potencia por rozamiento de sus flancos con los de las ranuras de las poleas, no debiendo, por tanto, descansar en el fondo ni sobresalir de las mismas.

En ocasiones las correas trapeciales también son llamadas correas en V y, con el fin de adaptarse de la mejor manera a las diferentes transmisiones que se pueden presentar, se fabrican en varias secciones.

Las correas son de tipo sinfín, por lo que existen varios tipos de correas con distintas longitudes.

Siempre es conveniente que en cada transmisión el juego completo de correas pertenezca siempre a una misma fabricación, sobre todo en correas de gran desarrollo, las cuales pueden presentar diferencias que originen un trabajo desigual.

3.5.2 CORREAS TRAPECIALES. CARACTERISTICAS

Las correas trapeciales cuentan con unas características muy particulares fundamentales para el excelente desarrollo de su trabajo. Una de estas es su elevada flexibilidad que permite grandes frecuencias de flexión. Además, la mayor superficie con relación a la sección, garantiza una menor disipación de calor.

La pequeña diferencia de la sección al trabajar en los canales de las poleas es otra de las características más importantes. Con ello se consigue una presión uniforme de los flancos de la correa sobre los canales.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Las secciones considerablemente reducidas frente a las correas trapeciales clásicas, con capacidad de transmisión equivalente (altura/ancho aproximado 1:1,2), como consecuencia del espacio ahorrado y los costos para un accionamiento completo, resultan más favorables con las correas trapeciales estrechas de alto rendimiento, que debido a las cualidades de sus materias primas empleadas bajo la norma DIN 7753, las hace de menor peso reduciendo la fuerza centrífuga, permitiendo una velocidad de la correa de hasta 42m/s.

3.5.3 CLASIFICACIÓN DE LAS CORREAS TRAPECIALES

Las correas trapeciales se pueden clasificar en correas clásicas, correas estrechas de alto rendimiento y correas múltiples.

Las correas clásicas se siguen utilizando en instalaciones antiguas, pero más bien en cintas transportadoras, alimentadores, etc. y rara vez en machacadoras de mandíbulas, aunque estas correas, pero en grandes dimensiones si son utilizadas en machacadoras de mandíbulas como las de perfil D/32 y las de perfil E/40.

Las correas trapeciales estrechas de alto rendimiento con perfiles SPZ, SPA, SPB y SPL son las más utilizadas actualmente en las machacadoras de mandíbulas, además de emplearse en otros equipos industriales y trabajos dentro de las planta de áridos.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

En definitiva, estas correas trapeciales tienen cabida allí donde los accionamientos estén sometidos a vibraciones y tienden las correas trapeciales simples a retorcerse.

3.5.4 NORMALIZACION Y DIMENSIONES DE LAS CORREAS TRAPECIALES

Las correas trapeciales clásicas están normalizadas según la norma DIN 2215/ISO 4184, mientras que las correas trapeciales estrechas de alto rendimiento según las normas DIN 7753 e ISO 4184, al igual que las correas múltiples.

Las normas ISO especifican el ancho estándar como base de la normalización, este ancho permanece invariable cuando la correa se dobla verticalmente respecto a la base de su perfil. Por tanto el desarrollo estándar es la longitud de una correa trapecial medida a la altura de su ancho estándar.

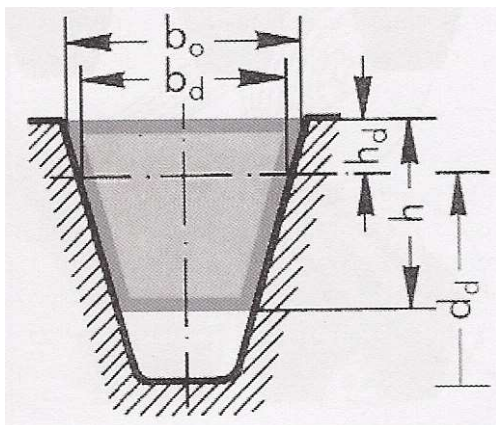


Ilustración 3.26 – Medidas del perfil de una correa

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

PERFIL	SPZ	SPA	SPB	SPC
Ancho superior de la correa b_0	9,7	12,7	16,3	22
Ancho estándar b_d	8,5	11	14	19
Altura de correa h	8	10	13	18
Distancia h_d	2	2,8	3,5	4,8
Diámetro de polea min. Recomendado d_{dmin}	63	90	140	22,4
Peso por metro (kg/m)	0,074	0,123	0,195	0,377
Frecuencia de flexión (s^{-1}) $f_{b\ max}$	100			
Velocidad máxima de la correa $V_{m\acute{a}x}$	42			

Tabla 3.9 – Medidas de los perfiles de las correas estrechas de alto rendimiento

3.5.5 TRANSMISION POR CORREAS TRAPECIALES

Las correas trapeciales o trapezoidales como son llamadas a veces, son un elemento de vital importancia en la transmisión, porque sirven para filtrar los choques que pueden transmitirse desde la machacadora de mandíbulas hasta el motor de accionamiento, soportando los impulsos sin reducir la velocidad de la machacadora.

3.5.6 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA TRANSMISION POR CORREAS TRAPECIALES

En una machacadora de mandíbulas es impensable no utilizar una correa trapezial como elemento de transmisión y en otros campos su uso es cada vez más extenso debido a las ventajas que a continuación se enumeran.

Para las pequeñas distancias entre ejes, las correas pueden ser tan cortas como lo permitan las dimensiones de las poleas.

Se dice que la capacidad de transmisión equivalente en la relación altura/ancho aproximada es de 1:1,2 y, como consecuencia del espacio ahorrado, por su adherencia por cuña permite una relación de velocidad constante evitando pérdidas de energía. La elevada relación de velocidad hasta 1/12 permite

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

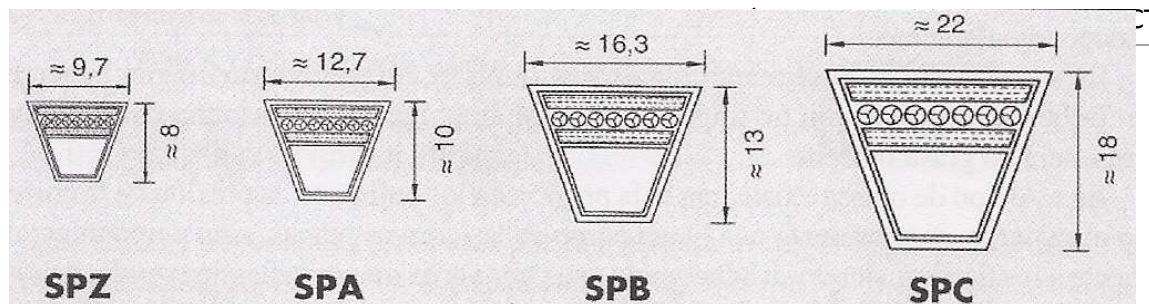


Ilustración 3.27 – Dimensiones del trapecio de las correas estrechas de alto rendimiento

emplear motores rápidos y obtener una reducción apreciable de los gastos de la instalación.

Pueden trabajar en cualquier posición, bien en transmisiones horizontales, verticales o inclinadas, como entre ejes verticales o entre un eje vertical y otro horizontal.

En su montaje se deberá respetar la máxima limpieza, no precisando de ningún adherente, si existe la presencia de aceite o grasa, se limpiará con un trapo impregnado en gasolina.

Con este tipo de correas existe una baja presión en los cojinetes, la presión de la correa obra de manera perpendicular a los flancos, siendo su adherencia unas 3 veces mayor que en las correas planas y disminuyendo de esta forma la presión sobre los cojinetes.

Poseen una elevada resistencia a la humedad, al polvo, a la intemperie, a los gases de cloro, al anhídrido sulfuroso y a la mayoría de los gases de sustancias químicas.

Pueden montarse en salas con temperaturas inferiores a 60°C, no debiendo montarse ni utilizarse en presencia de aceites, gasolinas, etc. Que atacan la goma.

Debe existir al menos un eje, el cual se pueda regular su distancia centro con los otros ejes de las poleas para poder tensar debidamente la correa.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

En las machacadoras de mandíbulas, que existe la posibilidad de agarrotamiento, conviene proveer a los motores de interruptores automáticos de máxima intensidad o bien ejercer una vigilancia continua, pues de otro modo las correas se destruyen en poco tiempo.

3.5.7 ELECCION DE CORREAS TRAPECIALES

Para seleccionar el perfil de correas más adecuado, se debe tener en cuenta la economía y dimensiones constructivas y el aprovechamiento máximo de potencia utilizando el mayor diámetro de la polea posible en función del perfil que se trate.

El límite a tener en cuenta es la velocidad lineal máxima permitida (V_{max}), que son 42m/s para correas trapeciales estrechas de alto rendimiento y de 30m/s para correas trapeciales clásicas.

Por experiencia se sabe que deben evitarse los diámetros mínimos de poleas puesto que este tipo de accionamiento requiere un gran número de correas y con ello poleas más anchas y consecuentemente más caras.

En zonas límite, se recomienda el perfil de correa más estrecha para el mismo diámetro de polea ya que el perfil menor ahorrará tanto en costes como en espacio.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Se adjuntan los gráficos de elección de correas, clásicas y estrechas de alto rendimiento. En ellos se puede ver como son marcados en negrita los números

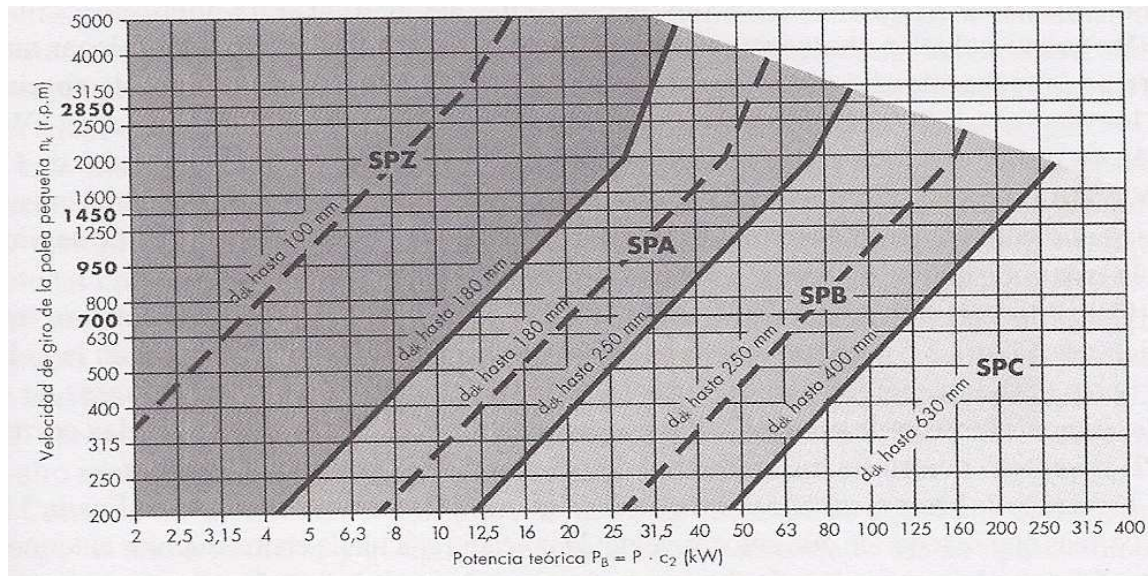


Ilustración 3.28 – Gráfico de correas estrechas de alto rendimiento

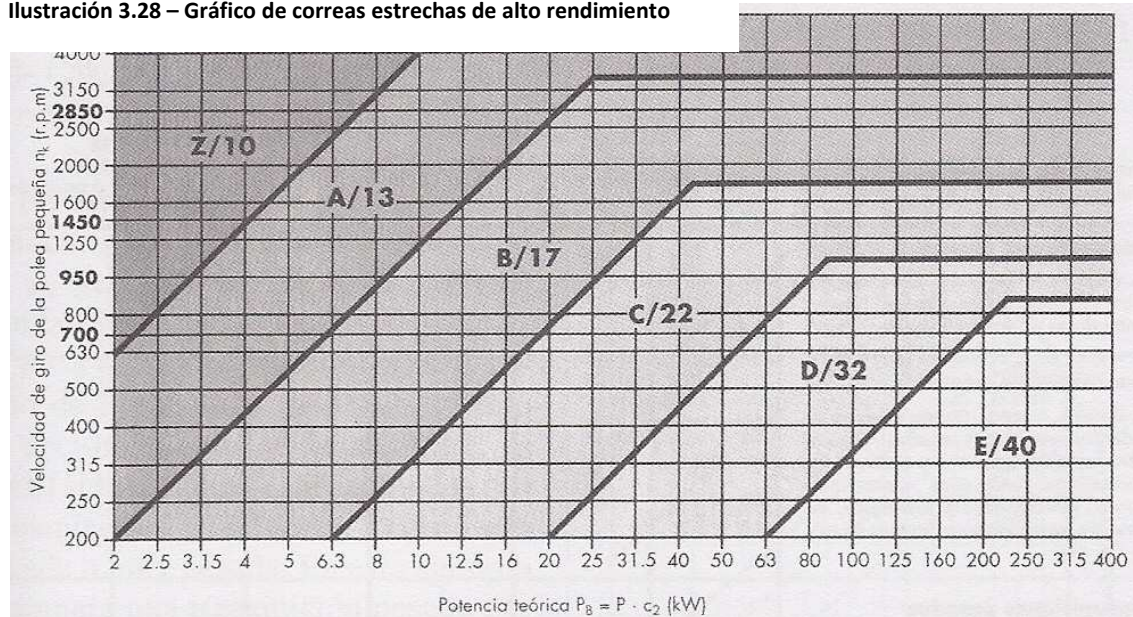


Ilustración 3.29 – Diagrama de elección de correas clásicas

700, 950, 1450 y 2850 en el eje de ordenadas, estos números en rpm, indican las velocidades más comunes de los motores asíncronos, correspondiendo al número de pares de polos del devanado. Las revoluciones estándar de rotor en corto circuito son 750, 1000, 15000 y 3000 rpm.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Para el cálculo de la potencia teórica P_B , se multiplica la potencia del motor con un coeficiente C_2 o factor de carga, que depende de las horas de servicio diarias y del tipo de transmisión. La transmisión de una machacadora de mandíbulas se considera muy pesada.

	Factor de carga c_2 para servicio diario (horas)		
Transmisiones muy pesadas	Hasta 10	Entre 10 y 16	A partir de 16
	1,5	1,6	1,8

Tabla 3.10 – Factor de carga para máquinas accionadas

Siempre se tendrá en cuenta el diámetro de la polea más pequeña para no sobrepasar la velocidad máxima V_{max} , ya mencionada al principio de este apartado.

3.5.8 CALCULO DE TRANSMISION POR CORREA TRAPEZIAL

En este apartado se describe como realizar una selección de forma rápida de perfil de una correa, conociendo la potencia motriz, las rpm de la máquina y el tipo de transmisión de la máquina.

Teniendo en cuenta el factor de carga que depende del

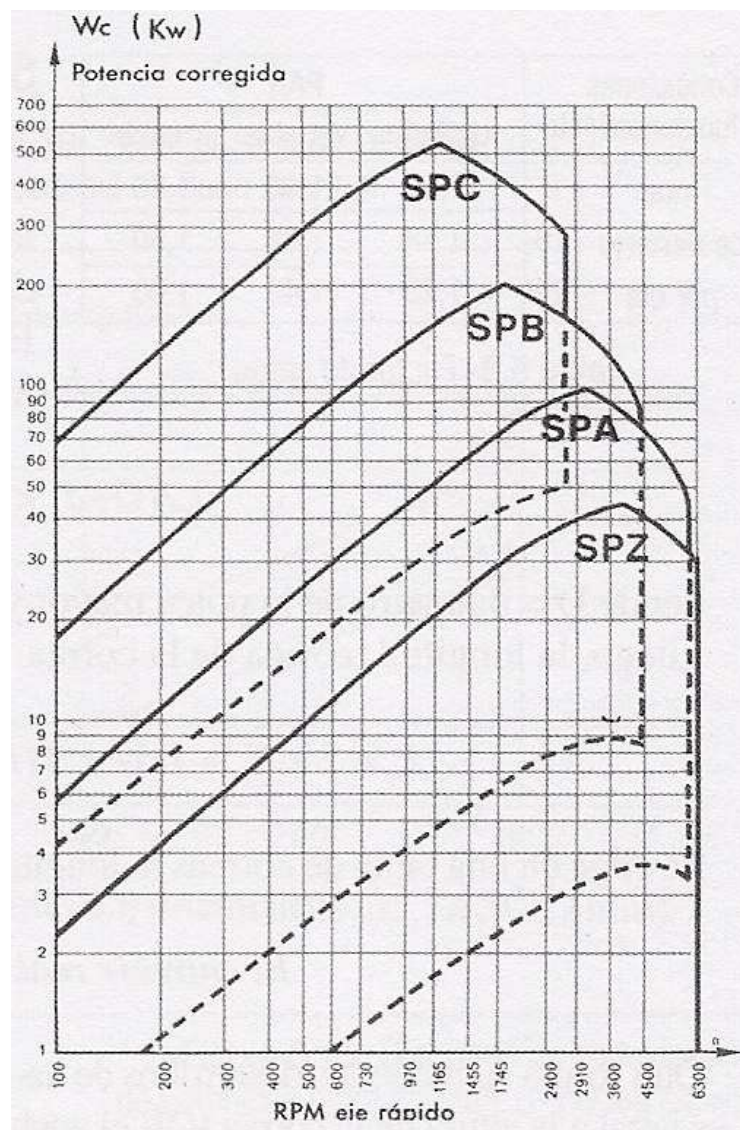


Ilustración 3.30 – Diagrama de selección de correas trapeziales

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

tipo de transmisión de las horas de funcionamiento diarias, se obtiene la potencia corregida como se ha explicado en el apartado anterior.

La relación de transmisión $i = n_1/n_2$ siendo n_1 las revoluciones por minuto del eje rápido y n_2 las revoluciones del eje lento, se obtiene el diámetro teórico de la polea grande, esta medida se busca en un manual de poleas de cualquier fabricante y se elige la medida máxima aproximada.

Obtenidas las revoluciones del eje rápido y calculada la potencia corregida se entra en el siguiente grafico trazando unas líneas que se cruzaran, indicando el tipo de correa adecuado.

3.5.9 LONGITUD DE LAS CORREAS TRAPECIALES

Para calcular la longitud de las correas es necesario medir la distancia entre ejes de las dos poleas. Partiendo de un entre eje deseado E_t , es decir, la distancia que hay entre el eje del motor y el de la máquina que va a mover.

$$0,7(D + d) < E_t < 2(D + d)$$

D → Diámetro de la polea mayor

d → Diámetro de la polea menor

La longitud teórica de la correa

$$L_t = 2 \cdot E_t + 1,57 \cdot 8(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4 \cdot E_t}$$

Se elige en una tabla de correas de fabricante la longitud estándar próxima a la longitud calculada.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

3.5.10 PRIMER MONTAJE DE UNA CORREA TRAPEZIAL

Es muy importante que a la hora de montar las correas trapeziales nuevas por primera vez en un equipo no se fuercen con palancas, destornilladores, etc., porque este tipo de herramientas provoca daños en los flancos exteriores de estas. Las correas trapeziales montadas a la fuerza funcionan a veces solamente durante unos días, ya que en su montaje se han utilizado elementos metálicos. El montaje correcto de la correa ahorra tiempo y dinero.

En determinadas ocasiones, se tienen recorridos del ajuste del tensado muy pequeños para colocar las corres. Para ello deben montarse las poleas acanaladas sobre el eje con las corres ya colocadas.

3.5.11 ESTADO DE LAS CORREAS

El estado de las correas y las precauciones en su utilización son muy importantes, ya que si las medidas no son comunes, el valor de ellas es considerable y los costes de reposición son uno de los temas más importantes a la hora del mantenimiento.

Por esto hay que comprobar con frecuencia la tensión de las correas de los equipos durante los primeros días de funcionamiento.



Ilustración 3.31 - Comprobador de tensión de correas

Posteriormente, en cuando hayan tenido un tiempo de funcionamiento y se hayan adaptado a las poleas hay que volver a tensarlas de nuevo, esto se debe a que las correas, cuando

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

son nuevas, son relativamente duras y pierden su elasticidad y se destensa, pudiendo provocar que patinen y pierdan velocidad, si no se realiza este nuevo ajuste de tensión de las mismas.

Si este ajuste no se lleva a cabo, podría provocar una parada de la machacadora de mandíbulas produciendo un atasco en la cámara de trituración, llegando al punto de que las correas puedan llegar a quemarse debido al aumento de temperatura que provoca la fricción entre las correas y la polea del motor.

3.5.12 DESVIACIONES ADMISIBLES DEL EJE

Después de haber establecido la pretensión del primer montaje, se deben medir las distancias X_1 y X_2 entre ambas poleas d_{d1} y d_{d2} y el carril de referencia aplicado a la altura de los ejes como se muestra en la figura.

Los valores deben quedar por debajo de los máximos admisibles para la distancia X de la tabla 3.10, dependiendo del diámetro d_d de las poleas. Según los diámetros de las poleas, se interpolará para los valores intermedios de X.

Diámetro de	Distancia
Poleas d_{d1} , d_{d2}	Admisible X_1 , X_2
112 mm	0,5 mm
224 mm	1 mm
450 mm	2 mm
630 mm	3 mm
900 mm	4 mm
1100 mm	5 mm
1400 mm	6 mm
1600 mm	7 mm

Tabla 3.10 – Valores de desalineación máxima permitida según diámetros de poleas

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

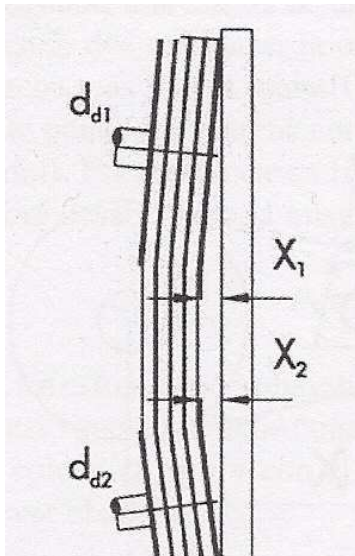


Ilustración 3.32 – Alineación de poleas

Cuando se montan dos poleas el alineado de las mismas y la diferencia máxima en grados que deben de existir entre ellas es de $0,5^\circ$, una respecto a otra y la alineación vertical de las poleas acanaladas trapeciales se verificara antes y después de apretar los casquillos cónicos.

Esta desalineación puede ser paralela o angular. La paralela tiene lugar cuando las poleas no se encuentran centradas sobre el mismo eje, pero sí

sobre el mismo plano, mientras que en la desalineación angular las poleas no se encuentran sobre el mismo eje ni sobre el mismo plan. El ángulo de desviación es menor en la desalineación paralela que en la desalineación angular.

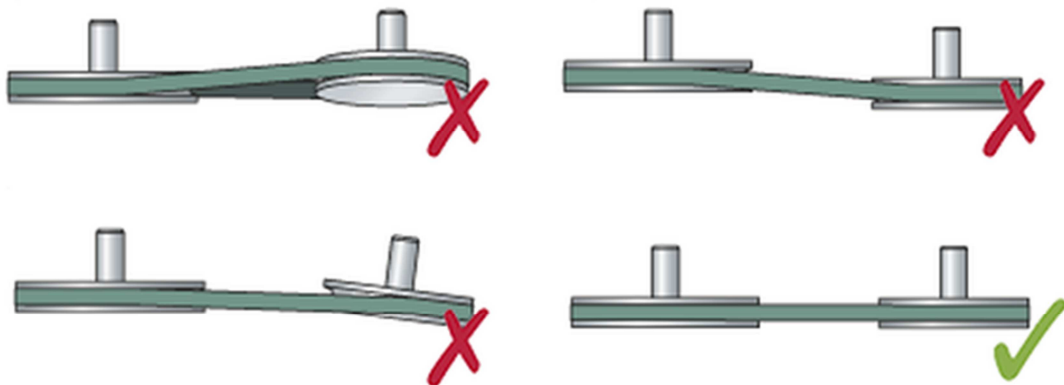


Ilustración 3.33 – Alineaciones de correas

3.5.13 LAS HERRAMIENTAS DE ALINEACION

Una mala alineación de las poleas puede provocar ruido, desgaste en las poleas, correas y rodamientos, vibraciones y finalmente la parada de la machacadora de mandíbulas.

El método usado tradicionalmente para medir la desalineación consiste en poner una regla sobre las poleas, aunque actualmente se están utilizando herramientas de medición mediante laser, que garantizan un procedimiento mucho más rápido y preciso.

El útil de medición laser, se instala en unos segundos y el rayo láser proyectado sobre los receptores le permite determinar y corregir la alineación de una manera más rápida.

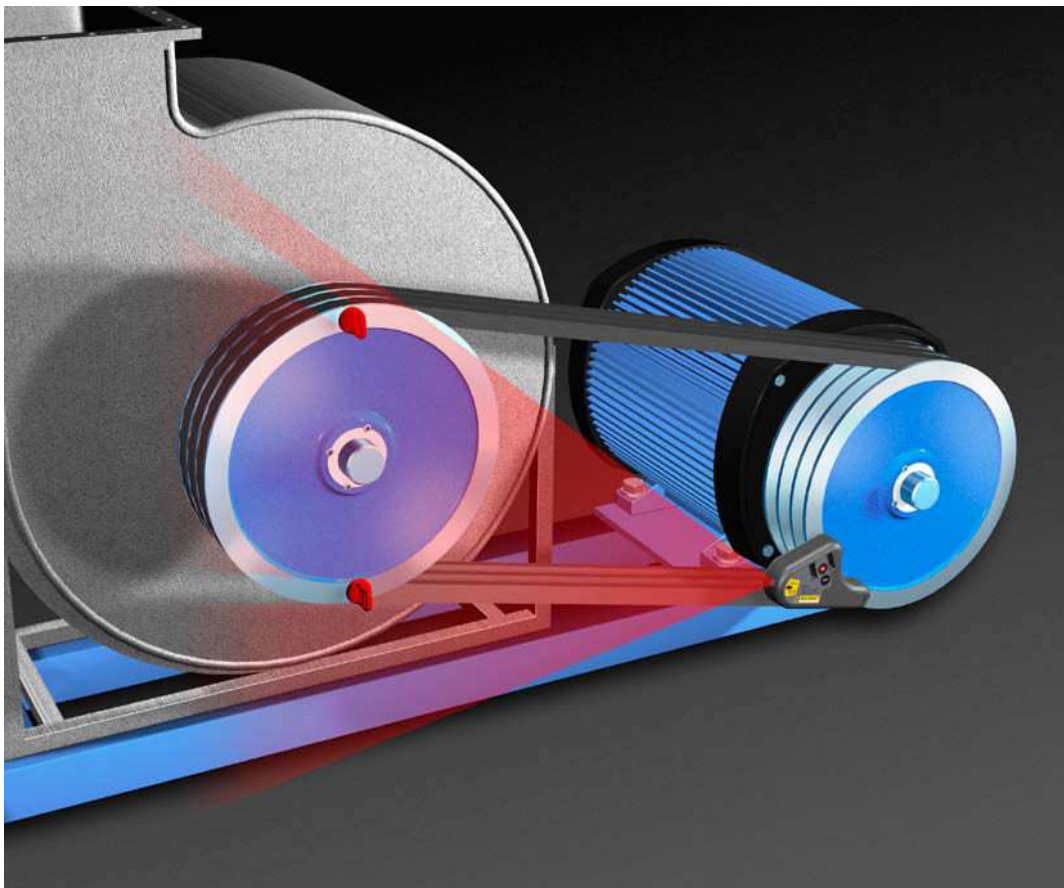


Ilustración 3.34 – Instrumento de alineación laser

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

El equipo de medición laser identifica la alineación paralela y angular, se puede utilizar para poleas con diámetros superiores a 60 m. El instrumento es tan ligero que se puede montar en poleas no magnéticas utilizando cinta adhesiva, independientemente de si las máquinas son instaladas con peas en modo vertical u horizontal. Es válido para correas trapeciales y síncronas, indica la desalineación paralela y angular de las poleas y permite una medida mucho más rápida y precisa que con los métodos tradicionales. Su precisión de calibración es en desfase $< 0,5$ mm y en ángulo $< 0,1^\circ$.

3.5.14 PROCEDIMIENTO DE CONTROL DE LAS CORREAS TRAPECIALES

Se recomienda verificar el accionamiento regularmente para ver su desgaste y poder ser sustituidas antes de que se produzcan las averías del equipo si estas llegaran a romperse, por no tener un buen mantenimiento, se llegaría a producir una avería o quizás un atasco considerable, puesto que si no se tiene un mecanismo acoplado para poder detectar la velocidad del equipo, el motor seguiría funcionando y todo el material que descargaría sobre la machacadora produciría un tasco en la cámara de trituración. Por eso, es interesante tener un buen mantenimiento de las correas con una simple revisión de rutina.

3.5.15 AYUDAS AL MONTAJE Y MANTENIMIENTO DE LAS CORREAS TRAPECIALES

Debido a la cantidad de problemas que aparecen en el trabajo cotidiano de las machacadoras de mandíbulas en cuanto a su accionamiento por correas

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

trapeciales, se adjuntan unas tablas de problemas, causas y la posible solución de las averías.

PROBLEMAS	CAUSAS	SOLUCION
Rotura de la correa después de un corto tiempo de funcionamiento (correa desgarrada)	Correa forzada durante el montaje, cuerda de tracción dañada. Influencia de cuerpos extraños durante la marcha. Correas subdimensionadas para la transmisión. Transmisión bloqueada.	Colocar dispositivos protectores. Comprobar las especificaciones de la transmisión y vuelva a dimensionar. Eliminar la causa del bloqueo.
Roturas y desgarros de la base de las correas (fragilidad)	Acción de un rodillo exterior en desacuerdo con nuestras recomendaciones. Diámetro de polea inferior al mínimo. Calentamiento excesivo. Frio excesivo Deslizamiento de la correa excesivo Influencia de agentes químicos	Aumentar el diámetro de la polea, colocar el rodillo en el ramal flojo que actúe de dentro a fuera. Siga las recomendaciones sobre diámetros mínimos de poleas. Aleje la fuente de calor, proteja o mejore la ventilación, o colocar correas con cuerda de aramida. Temple las correas antes de ponerlas en servicio, o colocar correas extra-resistentes al frio Retense la transmisión según las instrucciones de montaje, controlar el estado de la transmisión y si es necesario volver a dimensionarlo Proteger la transmisión contra las influencias contaminantes
Fuertes vibraciones de la correa	Accionamiento subdimensionado Distancia entre ejes superior a la recomendada Carga de choque alta	Comprobar el tipo de transmisión y modificarla si es necesario Reducir la distancia entre ejes, colocar un rodillo en el ramal fijo que actúe de dentro a afuera, coloque correas múltiples Utilice correas múltiples

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

	Tensión de la correa insuficiente	Corrija la tensión
Fuertes vibraciones de la correa	Poleas acanaladas trapeciales sin equilibrar	Equilibre las poleas
Las correas no se pueden retensar más	Insuficiente recorrido de tensado	Modificar las posibilidades de ajuste modificando los tensores
	Excesivo alargamiento ya que la transmisión está subdimensionada	Recalcular la transmisión y redimensionar
	Desarrollo de la correa incorrecto	Utilizar correas más cortas
Las correas se giran	Poleas no alineadas, perfil de la correa canal incorrecto	Vuelva a alinear las poleas, adapte correas y perfiles del mismo canal
	Desgaste excesivo de los canales de la polea	Sustituya las poleas
	Vibración excesiva	Monte un rodillo en el ramal flojo que actúe de dentro a afuera
	Tensión de la correa insuficiente	Elimine el cuerpo extraño y proteja la transmisión
Desgaste desacomodado de los flancos de la correa	Momento de arranque excesivo	Controlar el dimensionamiento de la transmisión
	Angulo del canal incorrecto	Repasar o sustituir la polea
	Excesivo desgaste del canal de la polea	Sustituir la polea
	Perfil de la correa/canal de la polea incorrecto	Adaptar el perfil de la correa y de la ranura de la polea entre sí
	Alineación incorrecta	Alinear las poleas
	Diámetro de la polea por debajo del mínimo recomendado	Aumentar el diámetro de la polea (redimensionar)
	Tensión de la correa insuficiente	Controlar la tensión de la correa y volver a tensar
	La correa roza a golpes contra algún elemento	Eliminar los puntos de contacto reposicionando el accionamiento
Ruido excesivo	Mala alineación de las poleas	Volver a alinear las poleas

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

	Tensión de la correa insuficiente	Controlar la tensión de las corres y volver a tensar
	Accionamiento sobrecargado	Comprobar la transmisión y volver a dimensionar
Correas hinchadas y pegajosas	Contaminación por aceite, grasa, productos químicos	Proteger los accionamientos contra los agentes externos, limpiar las ranuras de la polea con petróleo disolvente antes de montar las nuevas
Estiramiento desigual de las correas	Ranuras de la polea averiada	Sustituir las poleas
	Se usaron correas nuevas conjuntamente con correas usadas	Sustituir el juego completo de correas
	Correas de diferentes fabricantes en una misma transmisión	Utilizar correas del mismo fabricante

Tabla 3.11 – Solución a problemas relacionados con las correas

3.5.16 ALMACENAMIENTO DE LAS CORREAS

Alas correas trapeciales deben almacenarse correctamente, puesto que si no se hace adecuadamente, los productos de goma modifican sus cualidades físicas. El recinto de almacenamiento deber estar seco, exento de polvo, siendo conveniente que estén separados de los equipos de trabajo. Otro de los cuidados que se debe tener en cuenta es la ausencia de productos químicos, aceite, gasoil, etc., y por supuesto los cambios de temperaturas.

No deben estar expuestas al sol y luego a los fríos del invierno sin estar protegidas.

Hay que tener especial cuidado de que las correas no estén sometidas a tensiones de presión ni deformaciones, puesto que esto favorece a la formación de grietas, y si por algún motivo de espacio se guardan colgadas, el

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

diámetro de la espiga debe equivaler por lo menos a 10 veces la altura de la correa.

Un apunte interesante es la limpieza de las correas. En el caso de estar sucias, nunca se deben limpiar con bencina, aguarrás o similar. Se utilizará una mezcla de glicerina-alcohol en una proporción 1:10, no debiendo utilizar para su limpieza cepillos de alambre, papel de lija, etc.

3.6 MEDIDA DE LA TEMPERATURA

Para evitar lo ya comentado en el apartado de las grasas, de que un exceso de temperatura en un rodamiento pueda hacer que la grasa del mismo se convierta en líquido y se produzcan averías se debe tener conocimiento de la temperatura a la que están sometidos los rodamientos de las machacadoras de mandíbulas.

Para conocer el valor de la temperatura se utilizan termómetros, que pueden ser de contacto o por infrarrojos.

- Termómetros de contacto: Se utilizan para medir la temperatura de lugares estáticos, siendo la medición de este muy precisa. Si con este termómetro se quiere tomar la temperatura de un eje o pieza en movimiento se debe parar la máquina.



Ilustración 3.34 – Operario midiendo la temperatura con un termómetro de contacto



Ilustración 3.35 – Termómetro por infrarrojos

- Termómetro por infrarrojos: Estos termómetros, más caros que los anteriores, miden la temperatura de una superficie de manera instantánea sin tener que estar en contacto con la misma.

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Se basan en tecnología por infrarrojos y permiten tomar temperaturas de lugares de difícil acceso, simplemente apuntando al elemento a analizar.

3.7 MOTORES

Las machacadoras de mandíbulas llevan como accionamiento motores eléctricos y estos suelen ser asíncronos, también llamados de inducción y pueden ser de rotor bobinado, de anillos rozantes o de rotor en cortocircuito, llamado de jaula de ardilla que son los más utilizados.

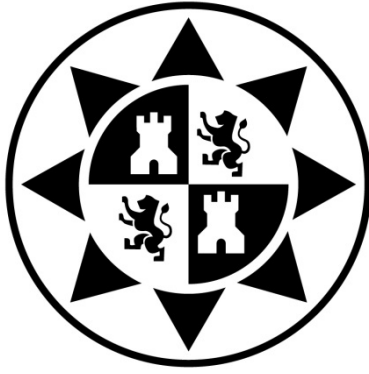
Cuando el motor se conecta a una fuente de suministro trifásica, el estator induce unas corrientes en las barras del rotor y la interacción del campo magnético generado entre el rotor y el estator origina un par, y por tanto la rotación del rotor.

Se denomina arranque de un motor al régimen transitorio en el que se eleva la velocidad del mismo desde el estado de motor detenido hasta el de motor girando a la velocidad de régimen permanente.

El conjunto que se pone en marcha es inercial y disipativo, incluyendo en este último concepto a las cargas útiles, pues consumen energía.

4.0 REFERENCIAS

- (1) López Gimeno, C. (1998). Manual de áridos. Barcelona: Técnicos asociados.
- (2) Durán López, A. (2006). Selección práctica y aplicaciones de los equipos de trituración. Madrid: Fueyo editores.
- (3) Ramsay, J.G. (1977). Plegamiento y fracturación de las rocas. Madrid. Blume
- (4) Diferente bibliografía de Shergold. (1963).
- (5) Diferente bibliografía de Hosking. (1969).
- (6) Joisel, A. (1981). Barcelona. Técnicos asociados.



Universidad Politécnica de Cartagena

DOCUMENTO Nº2: PLANOS

ASPECTOS TÉCNICOS Y DE DISEÑO PARA LA SELECCIÓN Y DIMENSIONADO DE LAS MACHACADORAS DE MANDÍBULAS EN LA TRITURACIÓN DE ÁRIDOS

El alumno José Francisco Carpena Ortega

Cartagena a 1 de Septiembre de 2014

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

INDICE PLANOS

1 INSTALACIÓN. ELEMENTOS	208
2 INSTALACIÓN	209
3 INSTALACION 3D	210
4 MACHACADORA. ELEMENTOS	211
5 MACHACADORA	212
6 MACHACADORA 3D.....	213
7 SISTEMA DE LUBRICACIÓN	214
8 MANDÍBULA FIJA. ELEMENTOS	215
9 MANDÍBULA FIJA	216
10 MANDÍBULA FIJA 3D.....	217
11 PLACA BASE	218
12 REVESTIMIENTO	219
13 PLACA DE AJUSTE	220
14 SOPORTE SUPERIOR	221
15 SOPORTE INFERIOR	222
16 CASQUILLO 50	223
17 TORNILLO DE CABEZA CUADRADA.....	224
18 MANDÍBULA MÓVIL. ELEMENTOS.....	225
19 MANDÍBULA MÓVIL	226
20 MANDÍBULA MÓVIL 3D	227
21 BARRA CENTRAL PROTECCIÓN CARCASA EJE.....	228
22 BARRA EXTREMO PROTECCIÓN CARCASA EJE	229
23 CARCASA DEL EJE.....	230
24 CASQUILLO ARANDELA DEL VÁSTAGO DE SUJECCIÓN.....	231
25 CASQUILLO DE PROTECCIÓN VÁSTAGO	232
26 CHAPA INFERIOR INTER-ESTRUCTURA	233
27 ENGANCHE CARCASA EJE	234
28 ESTRUCTURA PORTAMANDÍBULAS.....	235

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

29 GARRA PLETINA INFERIOR-PLACA ESTRUCTURAL.....	236
30 GARRA UNIÓN CUERPO – CARCASA EJE.....	237
31 GUÍA PLACA DE REGLAJE	238
32 PLACA BASE	239
33 PLACA DE AJUSTE	240
34 PLACA DE FONDO GUÍA-TACOS DE SUJECCIÓN	241
35 PLACA LATERAL SISTEMA DE REGLAJE	242
36 PLANCHA TRASERA.....	243
37 PLETINA INFERIOR DE SUJECCIÓN.....	244
38 PLETINA SUPERIOR DE SUJECCIÓN.....	245
39 REFUERZO PLACA BASE	246
40 REVESTIMIENTO ANTIDESGASTE.....	247
41 SOPORTE VÁSTAGO DE AMORTIGUACIÓN	248
42 TACO DE SUJECCIÓN GUÍA PLACA DE REGLAJE.....	249
43 TORNILLO DE SUJECCIÓN	250
44 SISTEMA DE REGLAJE. ELEMENTOS.....	251
45 SISTEMA DE REGLAJE	252
46 SISTEMA DE REGLAJE 3D	253
47 ARANDELA MUELLE LADO TUERCA	254
48 BULÓN VÁSTAGO	255
49 GUÍA PLACA DE REGLAJE	256
50 MUELLE.....	257
51 PLACA BASE ALOJAMIENGO GUÍA.....	258
52 PLACA DE REGALJE	259
53 SOPORTE MUELLE DERECHO.....	260
54 SOPORTE MUELLE IZQUIERDO	261
55 SOPORTE PLACA BASE-SISTEMA GUÍA	262
56 SOPORTE PLACAS MUELLE	263
57 SOPORTE VÁSTAGO DE AMORTIGUACIÓN	264
58 TOPE GUÍA – PLACA DE REGULACIÓN	265
59 VÁSTAGO MUELLE.....	266
60 EJE EXCÉNTRICO. ELEMENTOS.	267

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

61 EJE EXCÉNTRICO	268
62 EJE EXCÉNTRICO 3D.....	269
63 ARANDELA PROTECCIÓN RODAMIENTO II	270
64 BUJE EXTERIOR PORTA-CHAVETA	271
65 CAZUELA DE PUNTERA EJE	272
66 CHAVETA	273
67 DISCO EXTERIOR EJE	274
68 DISCO INTERIOR EJE	275
69 EJE EXCÉNTRICO	276
70 ENGANCHE SOPORTE RODAMIENTO EXTERIOR	277
71 PISTA INTERIOR DE RODAMIENTO EXTERIOR	278
72 PISTA INTERIOR DE RODAMIENTNO INTERIOR.....	279
73 POLEA DE ACCIONAMIENTO	280
74 RODAMIENTO EXTERIOR	281
75 RODAMIENTO INTERIOR	282
76 SOPORTE INFERIOR RODAMIENTO EXTERIOR.....	283
77 SOPORTE RODAMIENTO INTERIOR EJE	284
78 SOPORTE SUPERIOR RODAMIENTO EXTERIOR LPA.....	285
79 SOPORTE SUPERIOR RODAMIENTO EXTERIOR LVI.....	286
80 TUERCA DE FIJACIÓN KM	287
81 VOLANTE DE INERCIA	288
82 BASTIDOR. ELEMENTOS.	289
83 BASTIDOR	290
84 BASTIDOR 3D	291
85 BARRA DE PROTECCIÓN	292
86 BASE BASTIDOR	293
87 BASE TOLVÍN.....	294
88 ENGANCHE DELANTERO.....	295
89 ENGANCHE TRASERO	296
90 ESCUADRA BASTIDOR-BARRA TRANSVERSAL	297
91 PARED BASTIDOR	298
92 PLETINA BARRA DE PROTECCIÓN DELANTERA.....	299

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

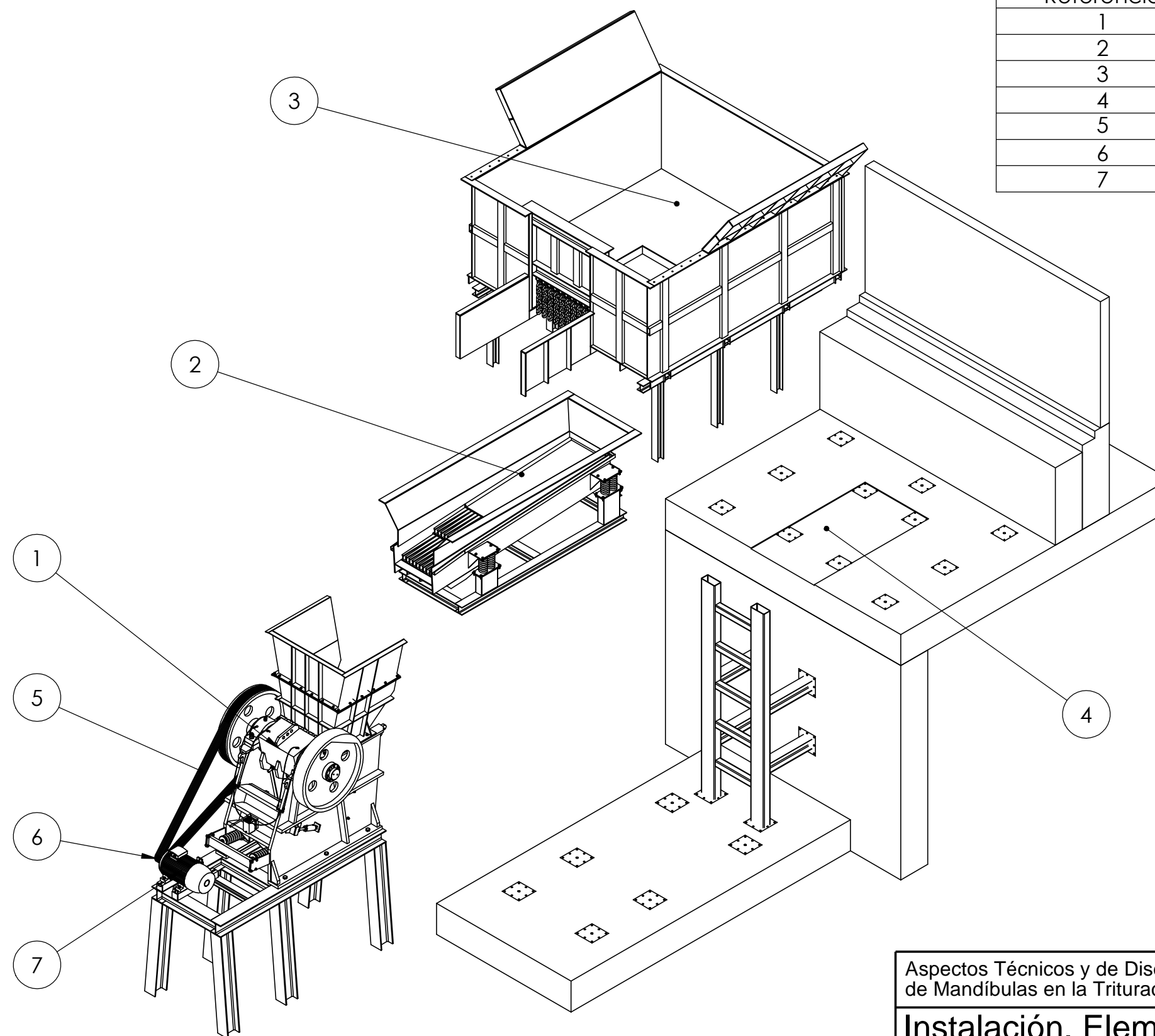
José Francisco Carpena Ortega - UPCT

93 REFUERZO BASE DE BASTIDOR.....	300
94 REFUERZO CUERPO BASTIDOR.....	301
95 REFUERZO DELANTERO	302
96 REFUERZO TRASERO	303
97 REVESTIMIENTO INFERIOR DER	304
98 REVESTIMIENTO INFERIOR IZQ	305
99 REVESTIMIENTO SUPERIOR DER	306
100 REVESTIMIENTO SUPERIOR IZQ	307
101 SOPORTE DE AMORTIGUADOR LADO CILINDRO.....	308
102 SOPORTE DELANTERO PARA TOLVÍN	309
103 TAPA PROTECCIÓN TORNILLO DE REVESTIMIENTO	310
104 TOLVÍN DE ENTRADA. ELEMENTOS.....	311
105 TOLVÍN DE ENTRADA.....	312
106 TOLVÍN DE ENTRADA 3D	313
107 CHAPA APOYO ANCLAJE LATERAL.....	314
108 CHAPA INFERIOR	315
109 CHAPA SUPERIOR	316
110 CHAPA TRASERA.....	317
111 REFUERZO BASE CHAPA LATERAL	318
112 REFUEURZO CHAPA FRONTAL CENTRO	319
113 REFUERZO CHAPA FRONTAL INFERIOR	320
114 REFUERZO CHAPA FRONTAL SUPERIOR	321
115 REFUERZO CHAPA LATERAL CENTRO	322
116 REFUEURZO CHAPA LATERAL INFERIOR	323
117 REFUERZO CHAPA LATERAL SUPERIOR	324
118 REFUERZO CHAPA TRASERA.....	325
119 REFUEURZO ENSAMBLE CHAPA FRONTAL INFERIOR.....	326
120 REFUERZO ENSAMBLE CHAPA FRONTAL SUPERIOR	327
121 REFUERZO ENSAMBLE CHAPA LATERAL INFERIOR.....	328
122 REFUERZO ENSAMBLE CHAPA LATERAL SUPERIOR	329
123 REFUERZO FRONTAL BORDE SUPERIOR	330
124 REFUERZO INFERIOR CHAPA FRONTAL	331

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

125 REFEURZO INFERIOR CHAPA LATERAL	332
126 REFUERZO LATERAL BORDE SUPERIOR	333
127 CHASIS ELEVADO. ELEMENTOS.	334
128 CHASIS ELEVADO	335
129 CHASIS ELEVADO 3D.....	336
130 CARRIL SISTEMA TENSOR	337
131 CHAPA DE FONDO SISTEMA TENSOR.....	338
132 HEB 2509	339
133 HEB 4920 DER.....	340
134 HEB 4920 IZQ.....	341
135 LARGUERO 1729 E	342
136 LARGUERO 1729.....	343
137 TOPE INFERIOR SISTEMA TENSOR.....	344
138 TOPE SUPERIOR SITEMA TENSOR.....	345
139 TOLVA 3D.....	346
140 TOLVA.....	347
141 ALIMENTADOR 3D	348
142 ALIMENTADOR	349
143 CIMENTACIÓN 3D.....	350
144 CIMENTACIÓN	351



Referencia	Pieza	Cantidad
1	Machacadora	1
2	Alimentador	1
3	Tolva	1
4	Cimentación	1
5	Correa trapezoidal	8
6	Polea motor	1
7	Motor eléctrico	1

La longitud del elemento (5) "correa trapezoidal" es de 10165 mm con las siguientes dimensiones:
 $L = 22,48 \text{ mm}$
 $l = 8,9 \text{ mm}$
 $h = 17,52 \text{ mm}$

Datos del elemento (6) "motor eléctrico":
 Diámetro exterior: 259,6 mm
 N° de canales: 8 mm
 Separación entre canales: 5 mm
 $L = 22 \text{ mm}$
 $l = 4,53 \text{ mm}$
 $h = 24$

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Instalación. Elementos.

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:100

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



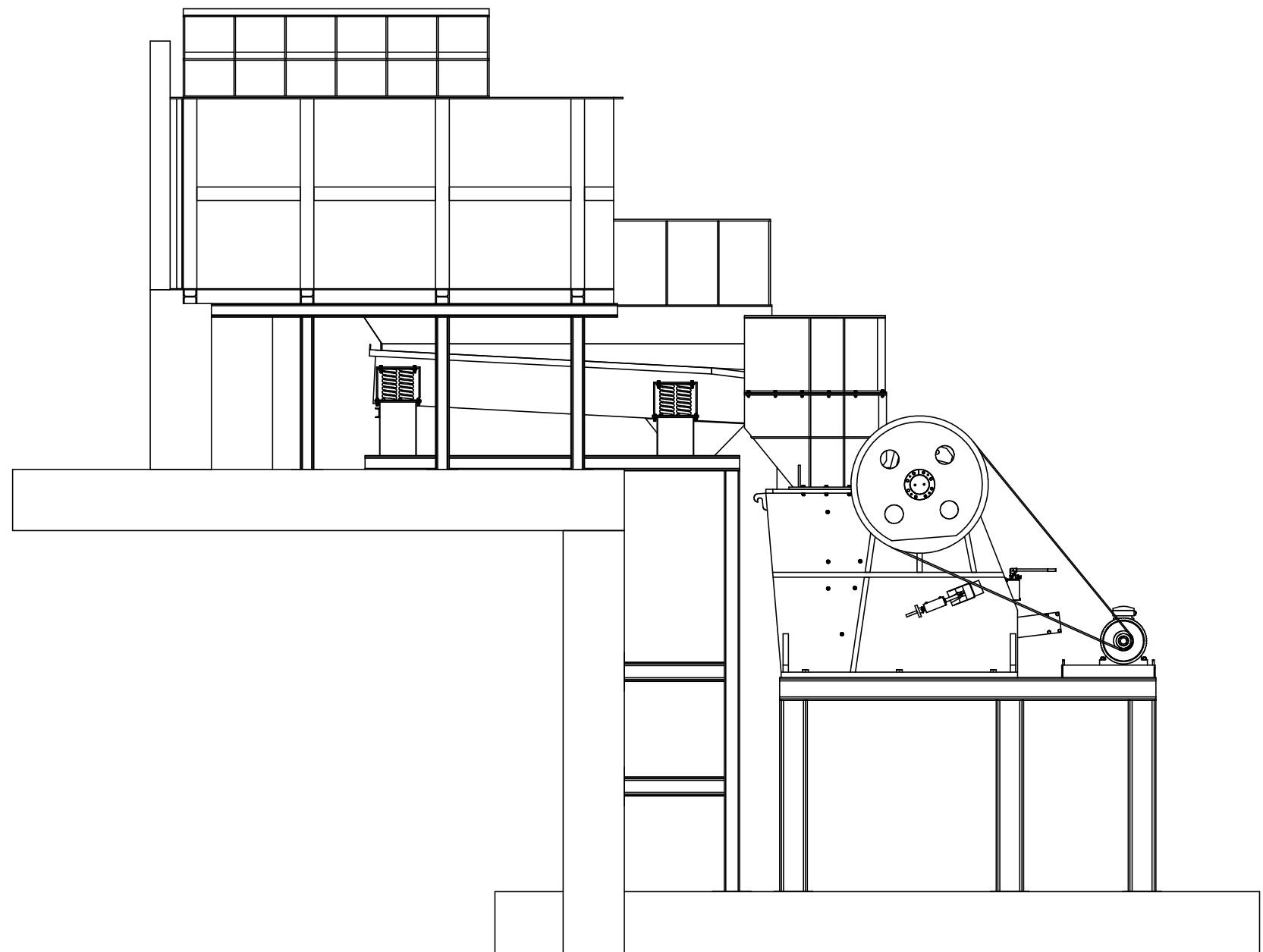
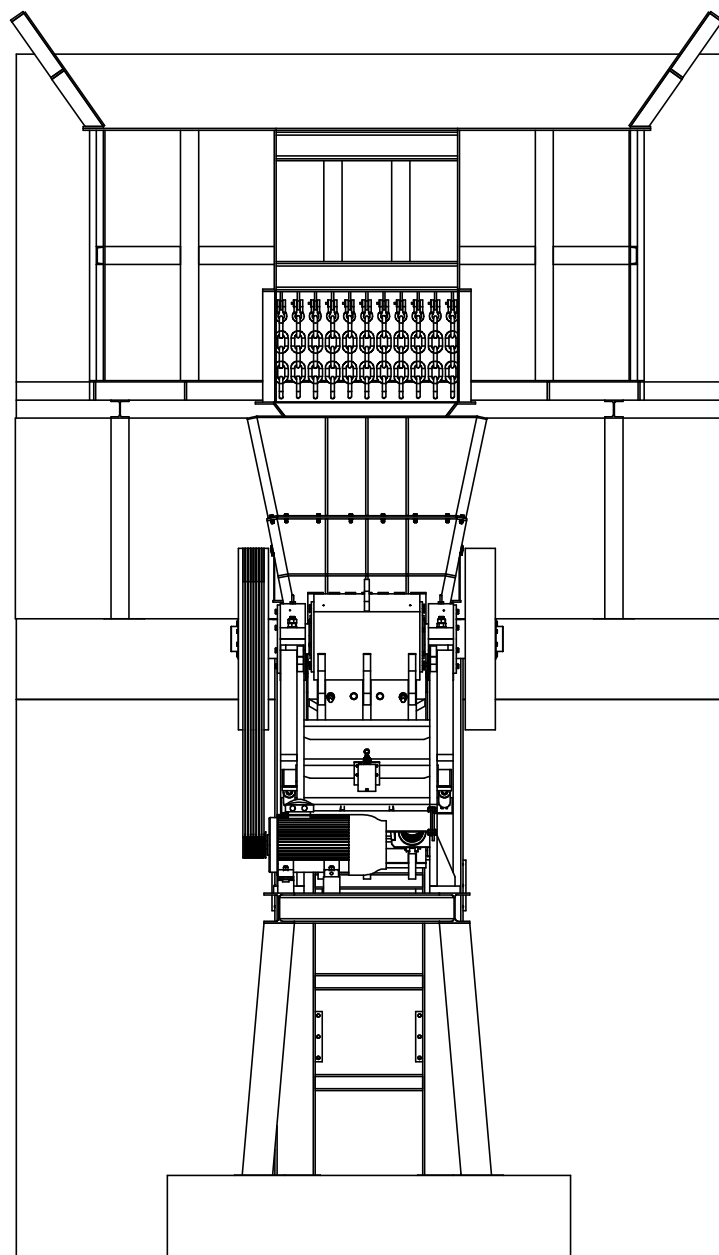
Universidad
Politécnica
de Cartagena





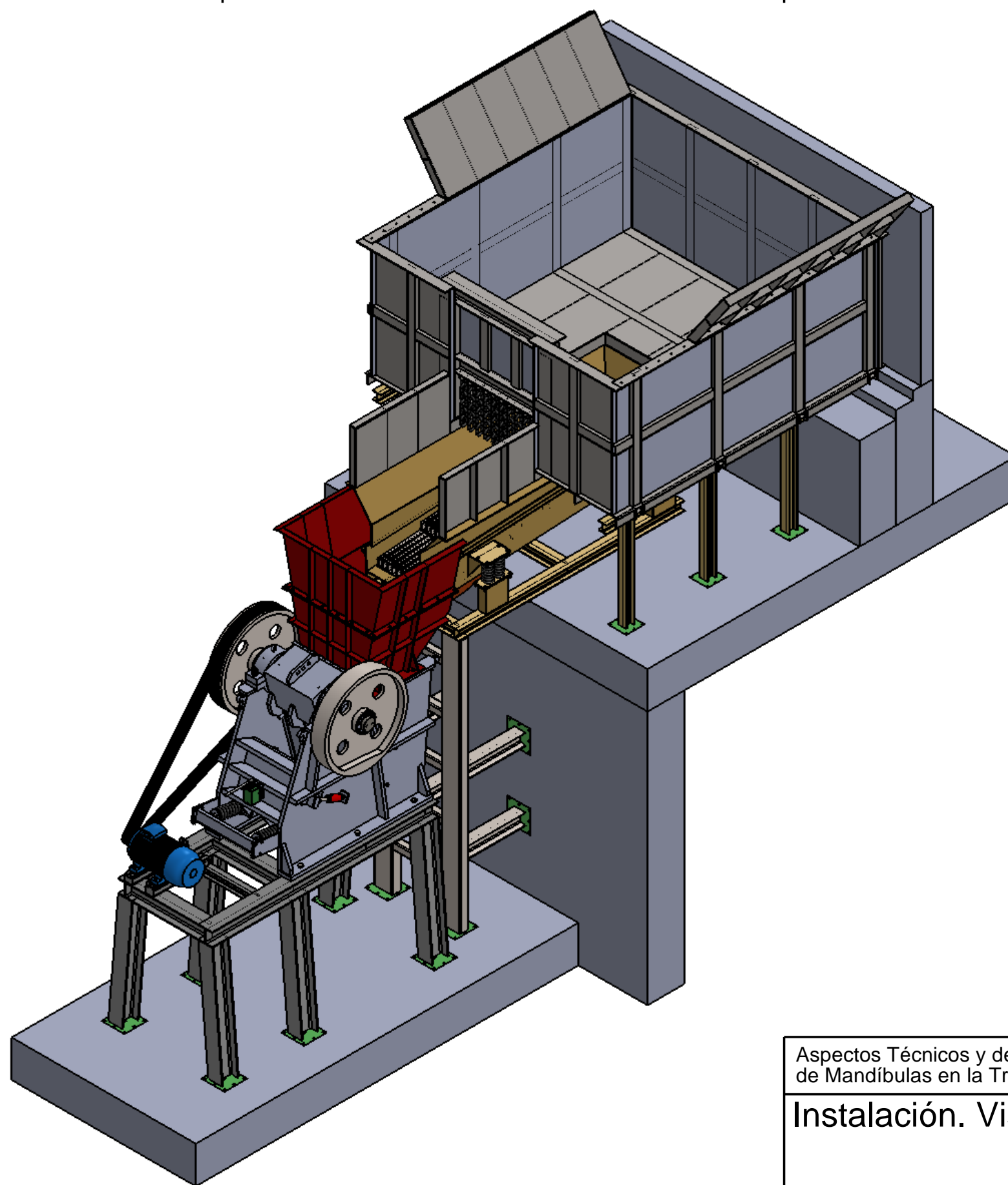
Hoja N° 208

A3

Plano N° 1



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos						
Instalación						José Francisco Carpena Ortega - UPCT
						Escala 1:75
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena			Hoja Nº 209
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3		Plano Nº 2



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Instalación. Vista 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:75

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

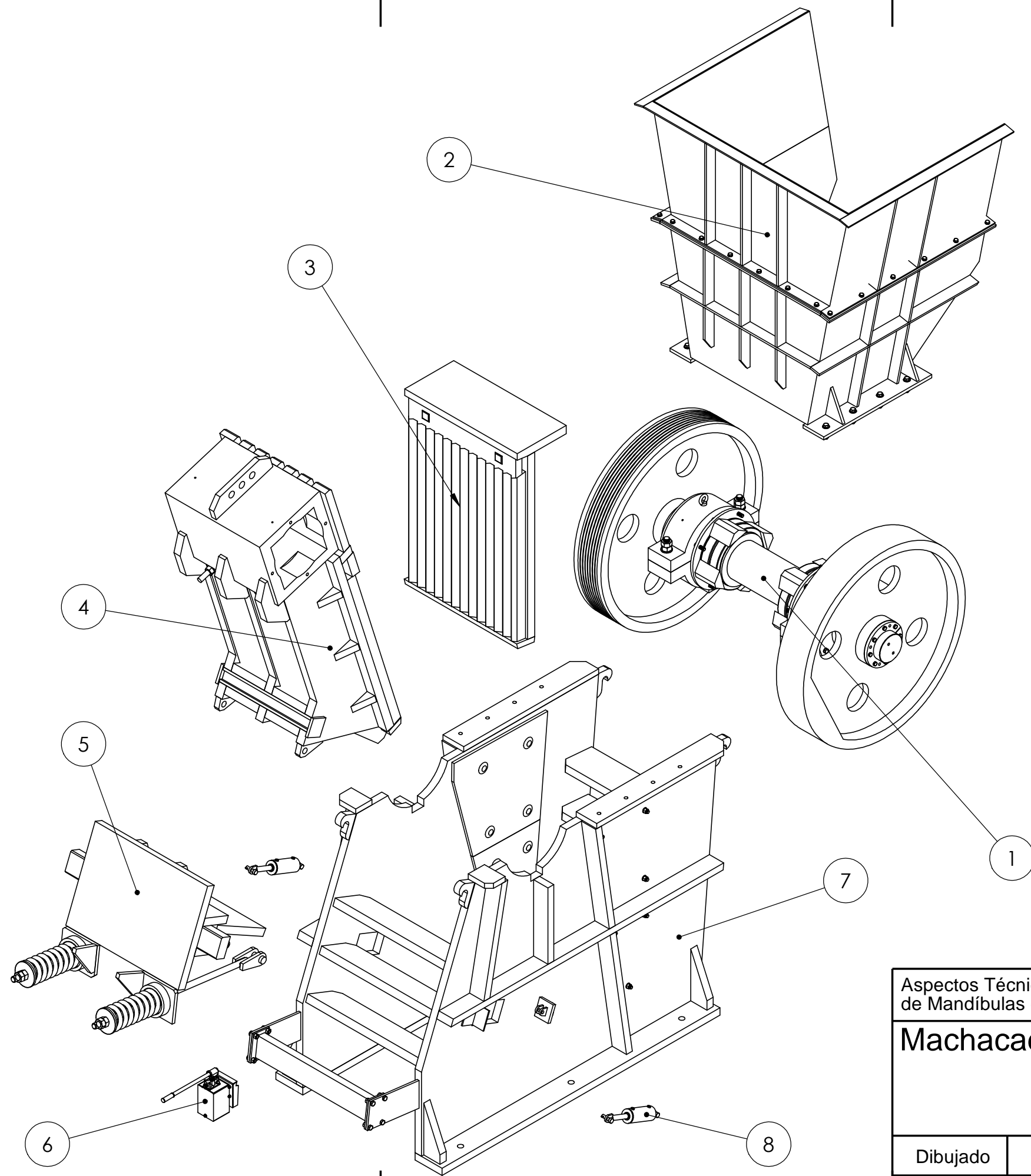
Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Hoja Nº 210

A3 Plano Nº 3



Referencia	Pieza	Cantidad
1	Eje excéntrico	1
2	Tolvín de entrada	1
3	Mandíbula fija	1
4	Mandíbula móvil	1
5	Sistema de reglaje	1
6	Sistema de lubricación	1
7	Bastidor	1
8	Amortiguador reglaje	2

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Machacadora. Elementos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Escala 1:35

Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014



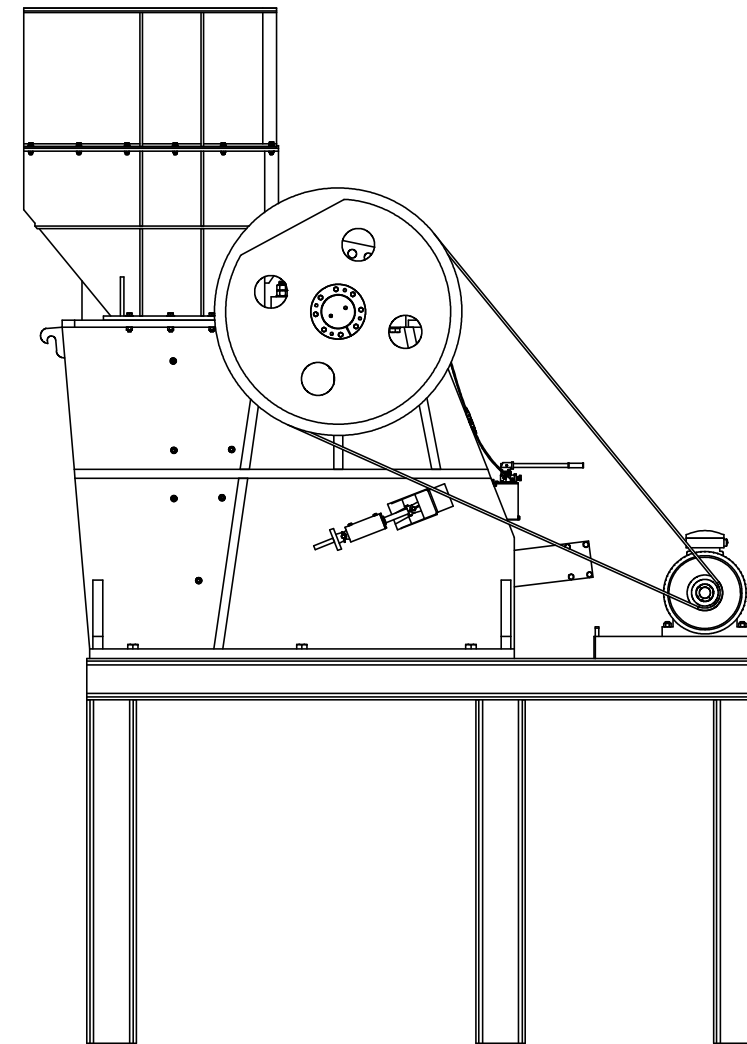
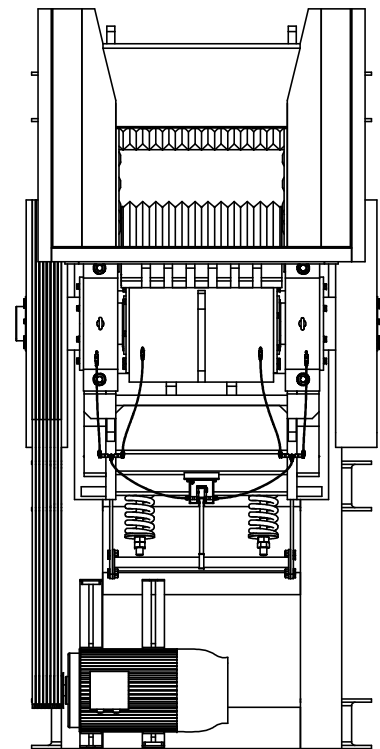
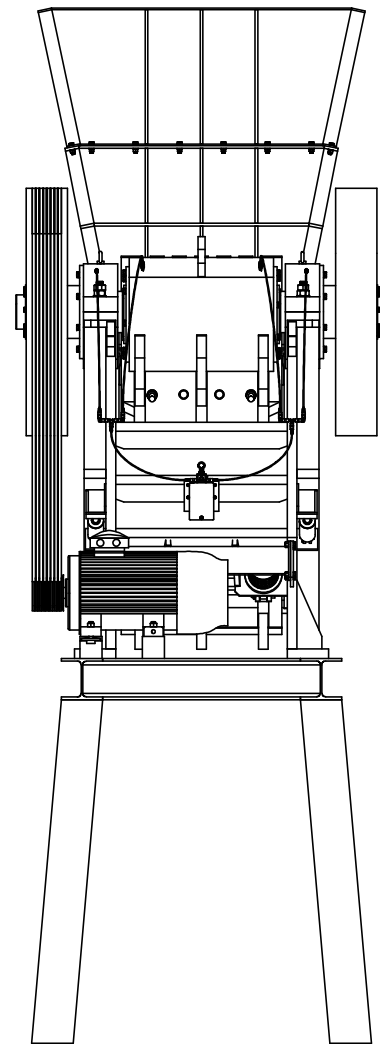
Universidad Politécnica de Cartagena



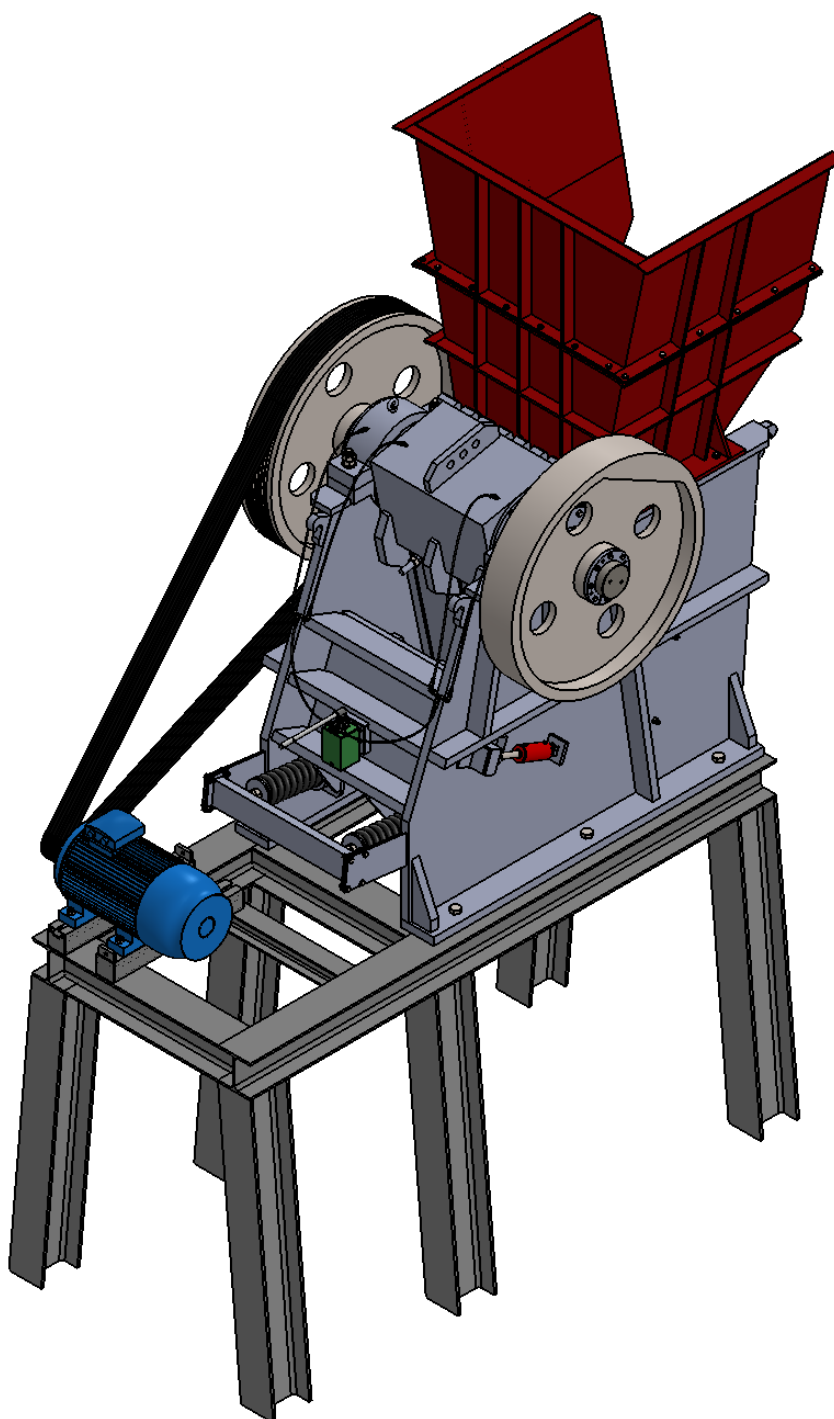
Hoja Nº 211

A3

Plano Nº 4



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos					
Machacadora de mandíbulas				José Francisco Carpena Ortega - UPCT	
				Escala	1:55
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena		Hoja Nº 212
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3	Plano Nº 5



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Machacadora de mandíbulas. 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:50

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 213

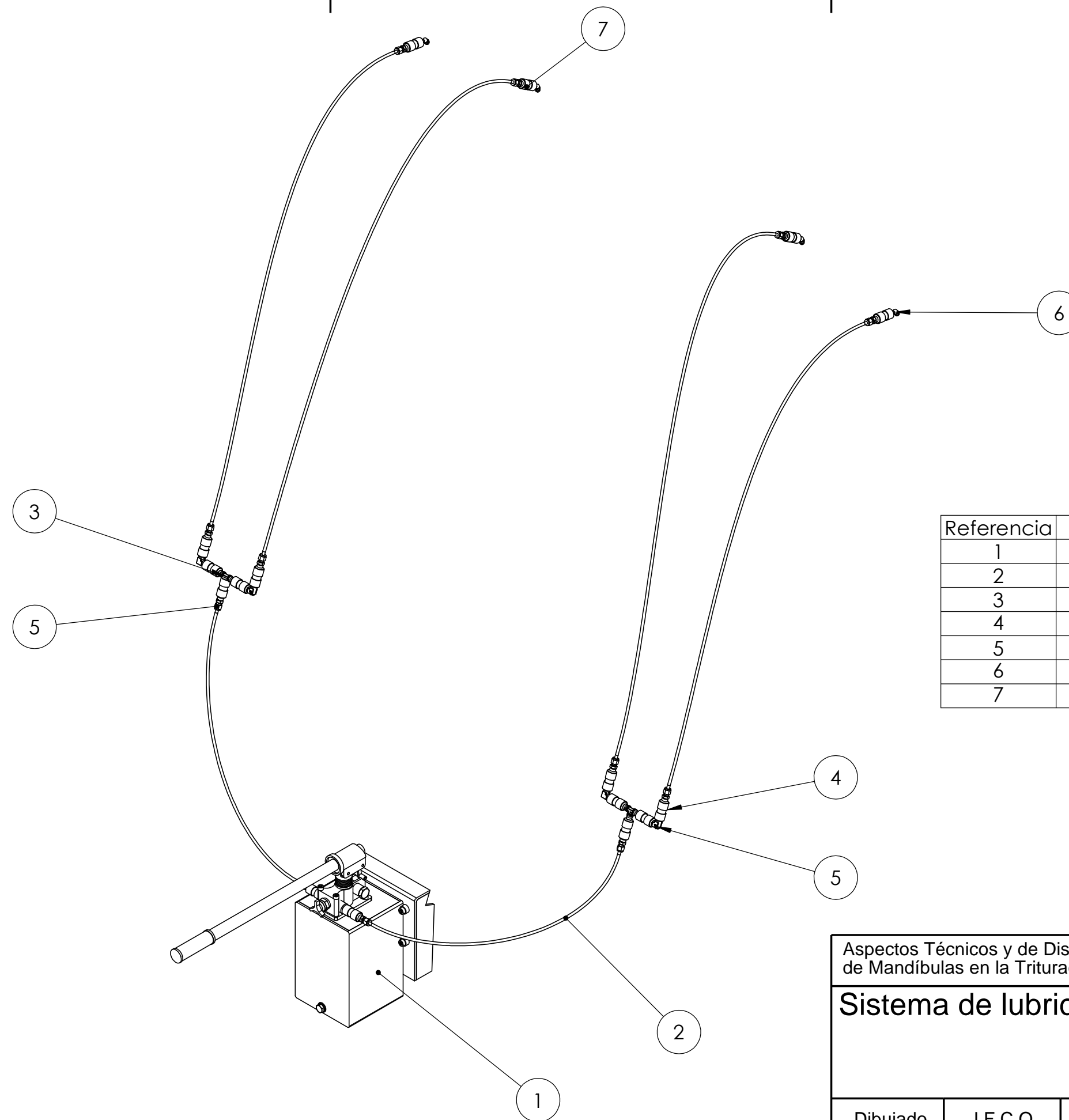
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

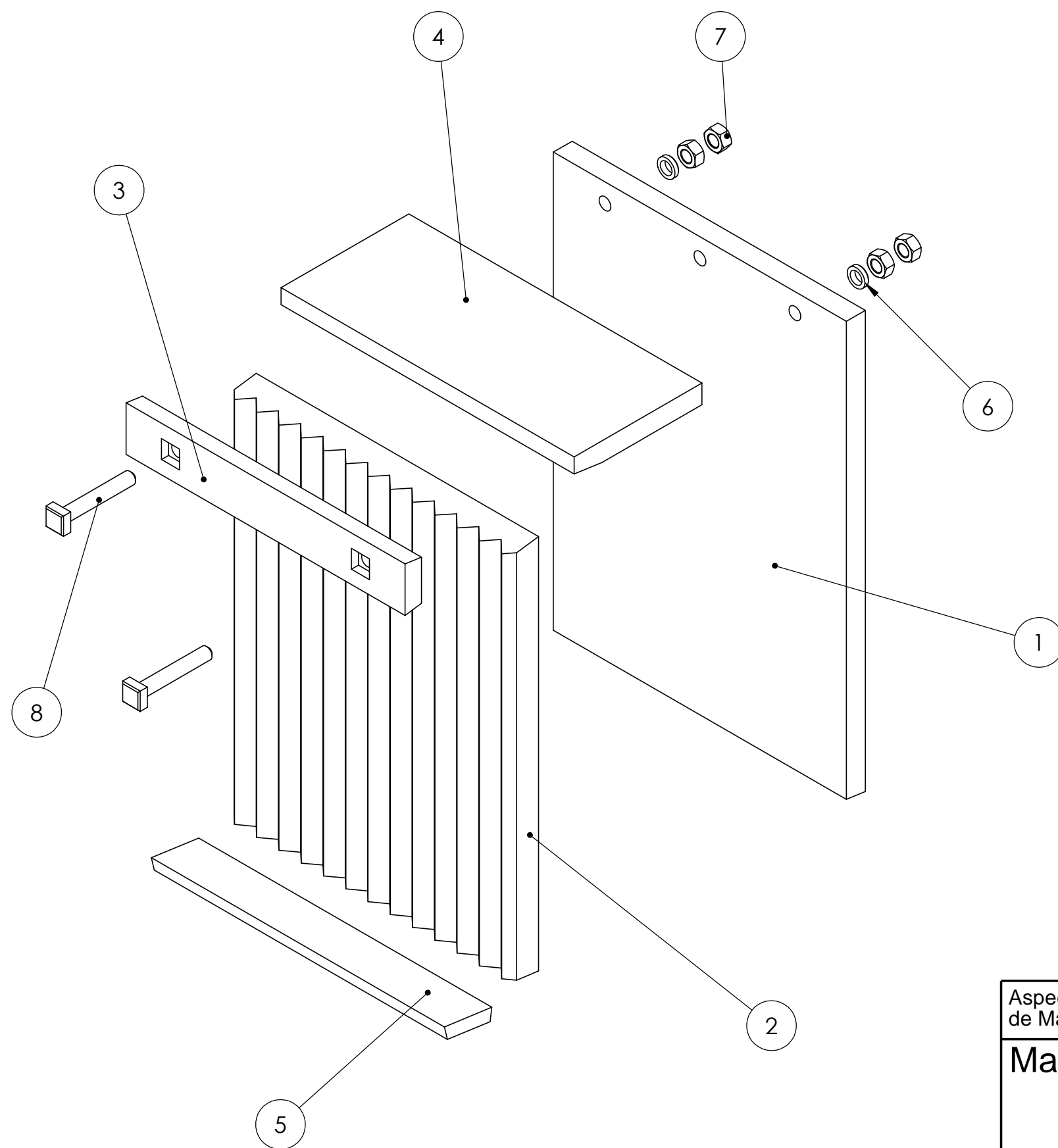
A4

Plano Nº 6



Referencia	Pieza	Cantidad
1	Bomba de lubricación	1
2	Tublo flexible 6 mm	6
3	Conector 90° 3T - 3804 08 00	2
4	Conector boquilla 12-12 mm	12
5	Conector 90° L - 0152 12 13	4
6	Engrasador 45° - D2 14 06	4
7	Conector boquilla 12-8 mm	4

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos				
Sistema de lubricación				José Francisco Carpena Ortega - UPCT
				Escala 1:10
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena	 Hoja Nº 214
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3 Plano Nº 7



Nº	Pieza	Cantidad
1	Placa base	1
2	Revestimiento	1
3	Placa de ajuste	1
4	Soporte superior	1
5	Soporte inferior	1
6	Casquillo 50	2
7	Tuerca hex ISO 4034-M48-N	4
8	Tornillo de cabeza cuadrada	2

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Mandíbula fija. Piezas

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:15

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



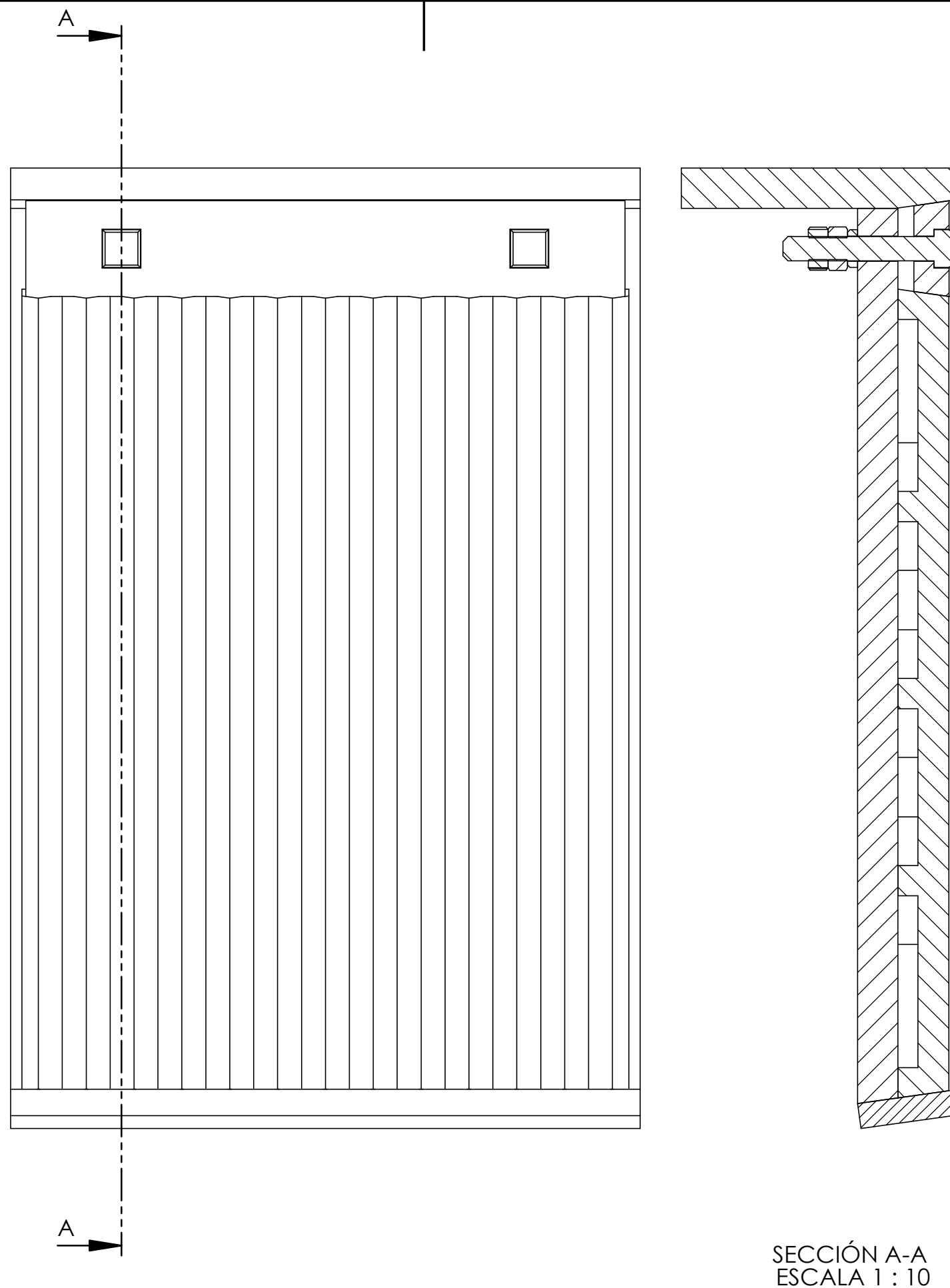
Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 215



A3

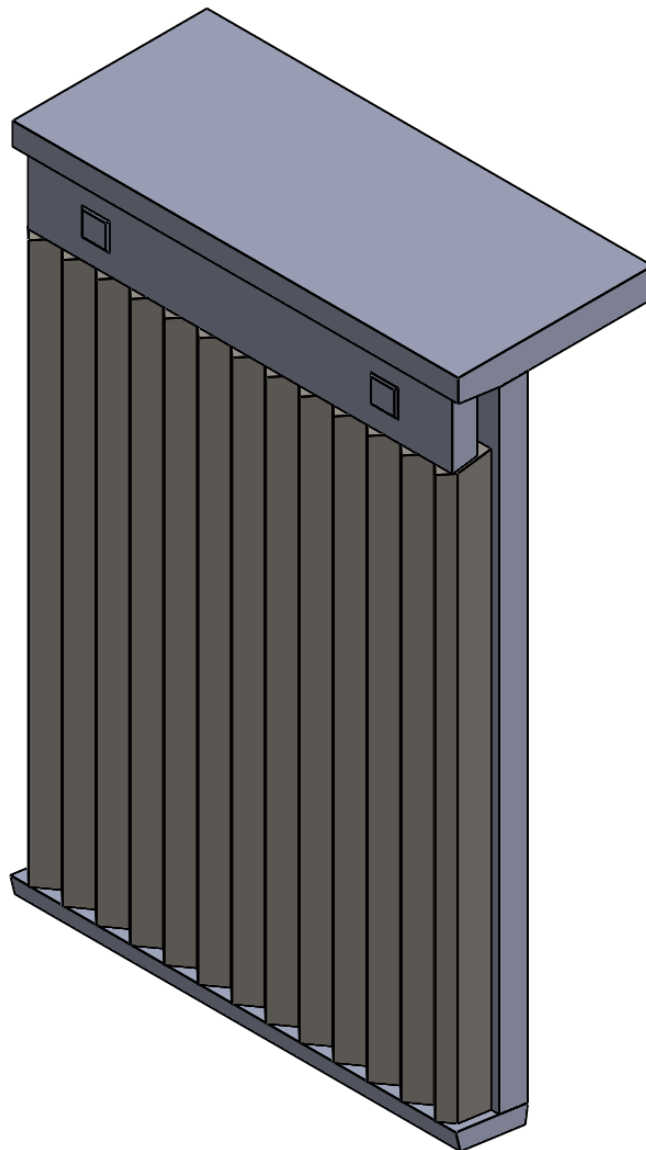
Plano Nº 8



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Mandíbula fija				José Francisco Carpena Ortega - UPCT	
				Escala	1:10
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena		Hoja N° 216
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3	Plano N° 9



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Mandíbula fija 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:15

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 217

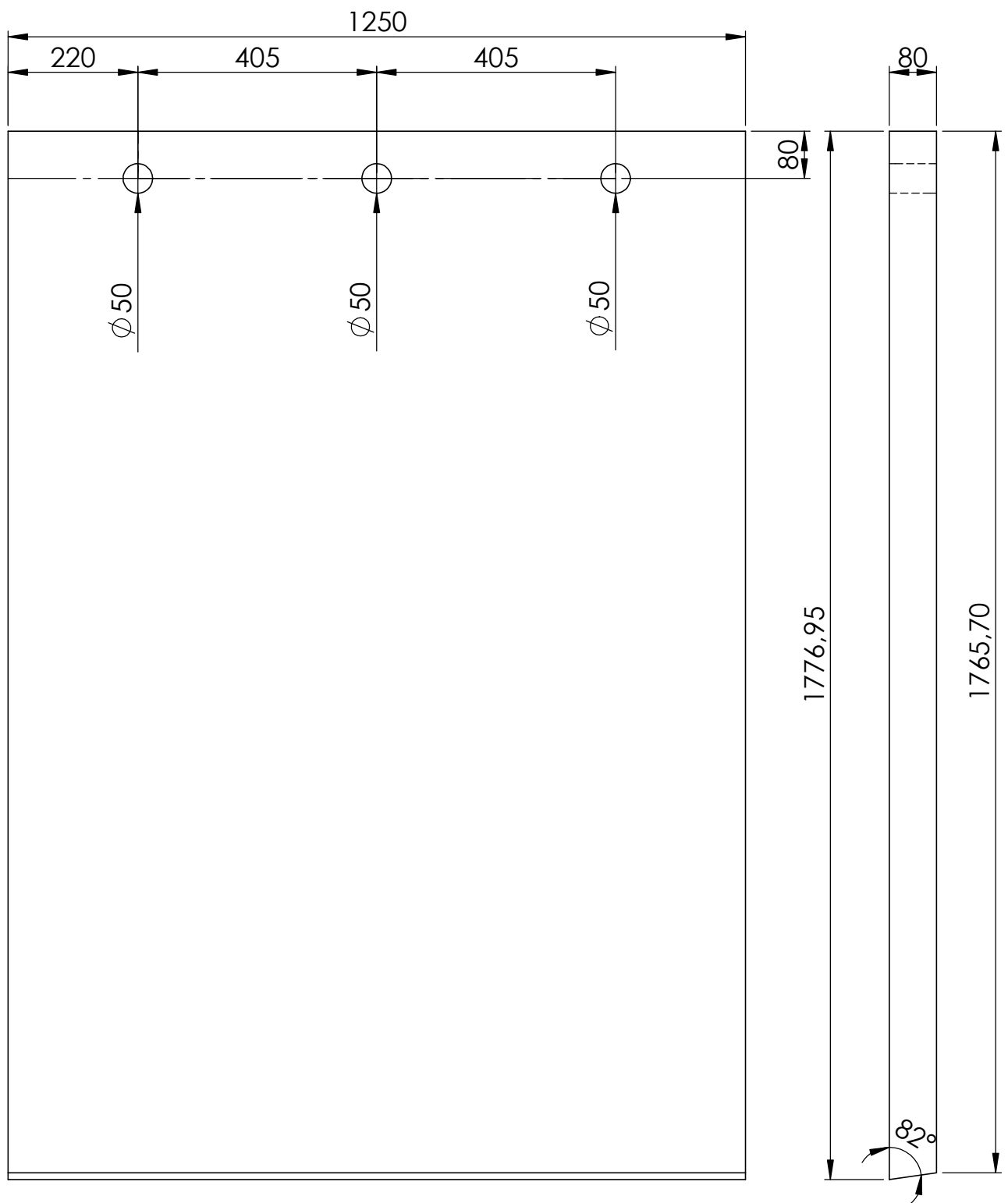
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 10



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Placa base

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 218

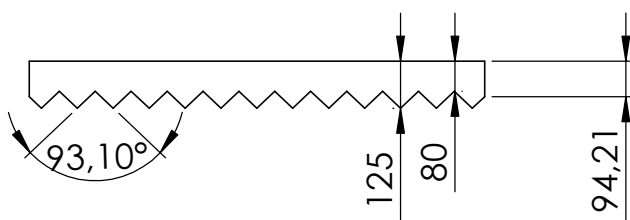
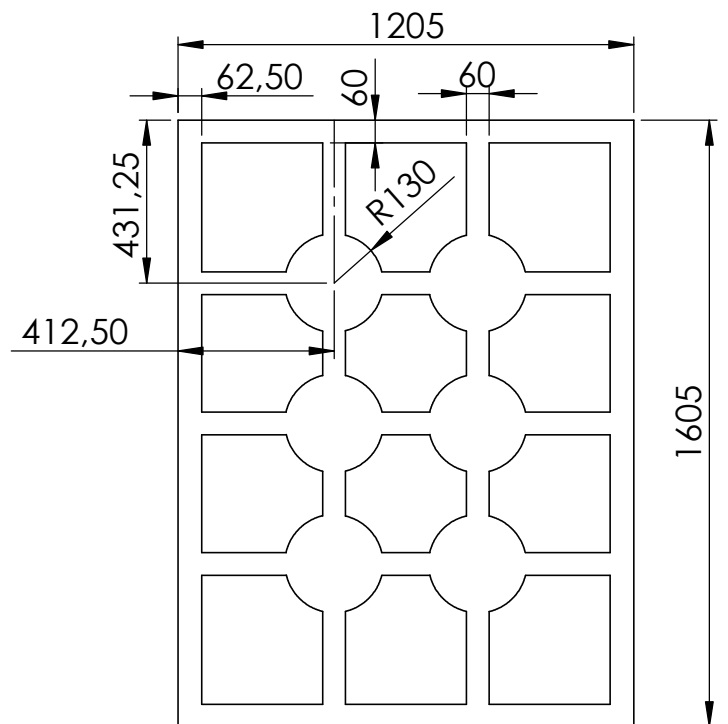
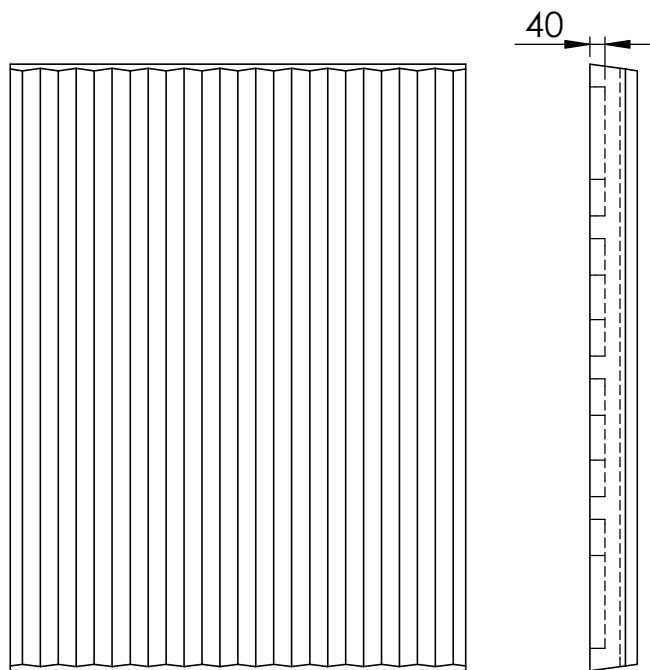
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 11



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Revestimiento

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 219

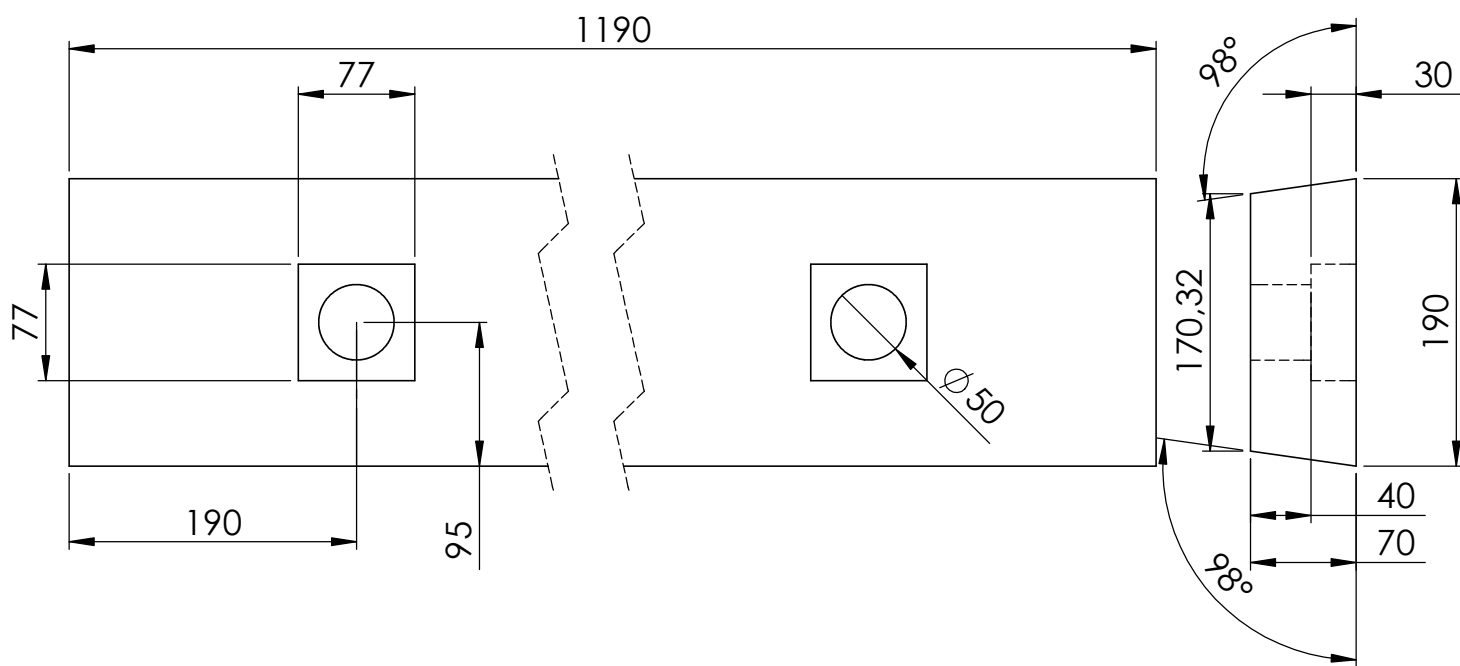
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 12



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Placa de ajuste

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 220

Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 13



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte superior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

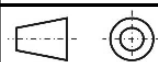
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 221

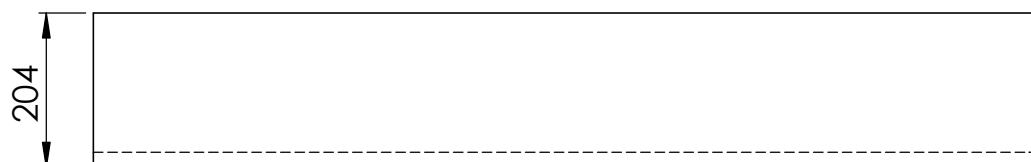
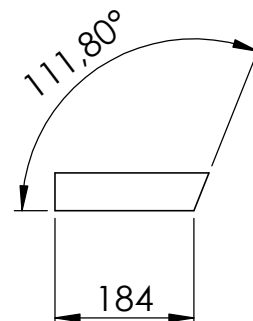
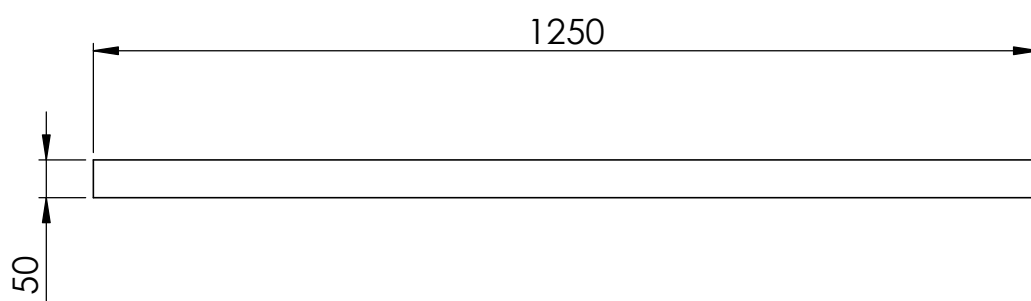
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 14



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte inferior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 222

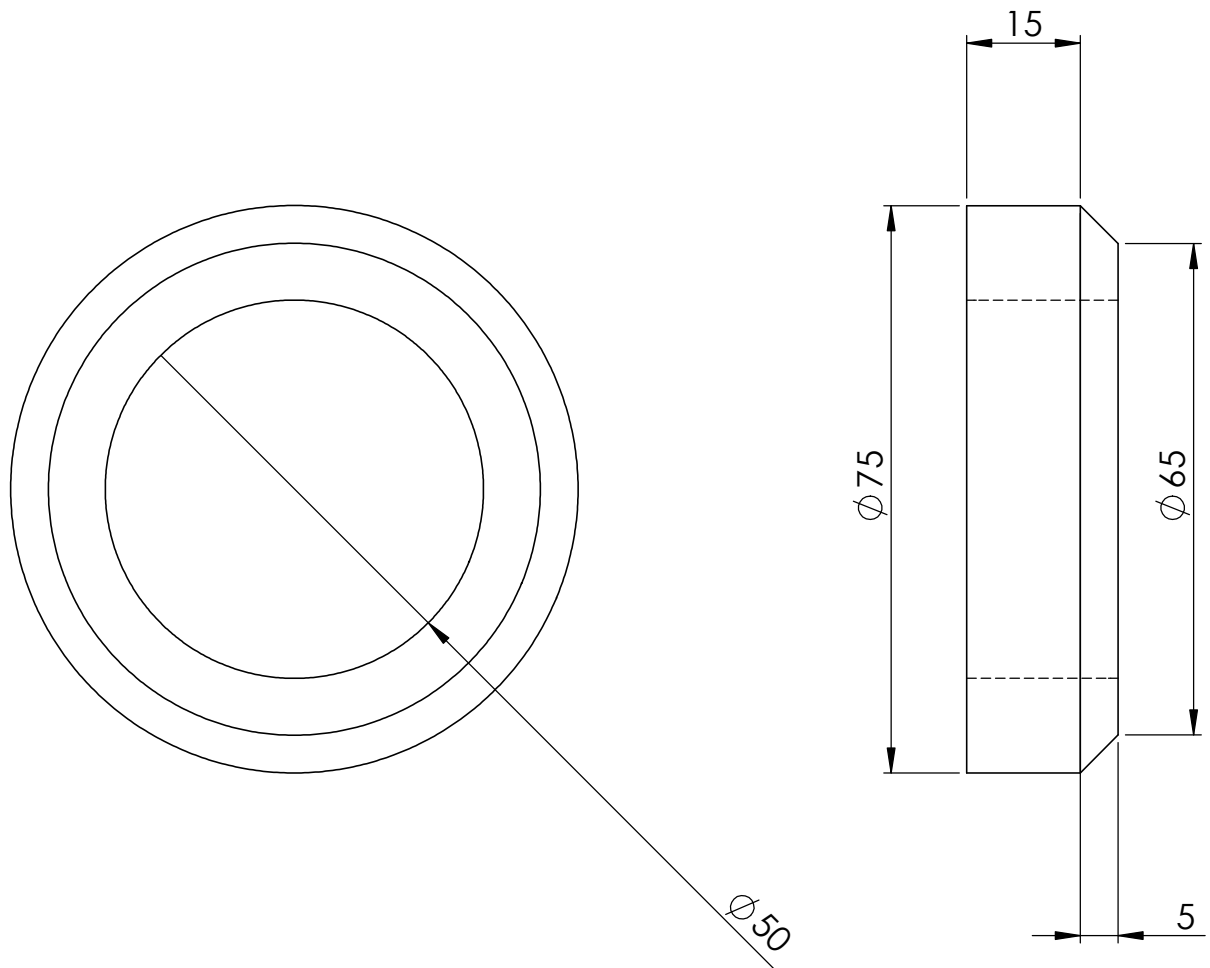
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 15



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Casquillo 50

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:1

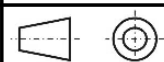
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 223

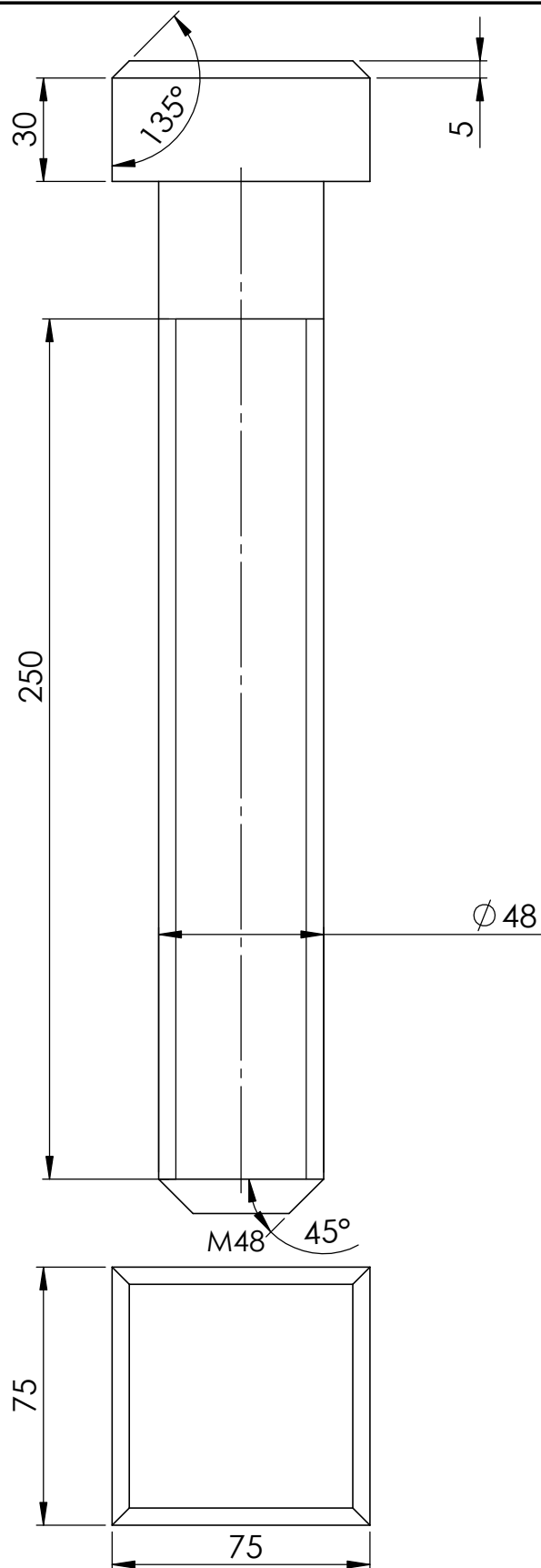
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 16



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tornillo de cabeza cuadrada

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 224

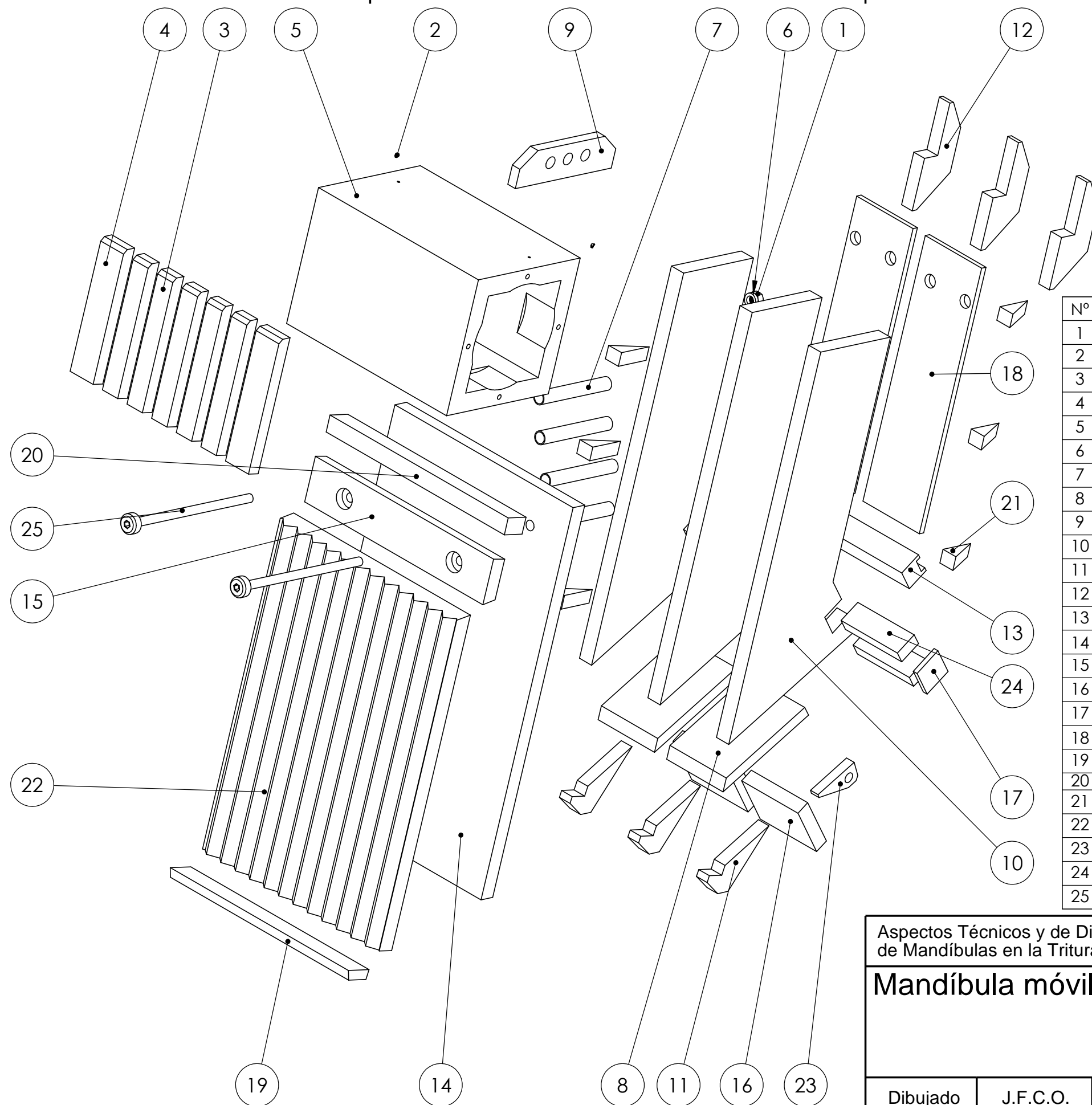
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 17



Nº	Pieza	Cantidad
1	Tuerca hex ISO 4034-M42-S	2
2	Engrasador 90º D2-19.02	2
3	Barra central protección carcasa eje	5
4	Barra extremo protección carcasa eje	2
5	Carcasa del eje	1
6	Casquillo del vástago de sujección	2
7	Casquillo de protección vástago	4
8	Chapa inferior inter-estructura	2
9	Enganche carcasa eje	1
10	Estructura portamandíbulas	3
11	Garra pletina inferior-placa estructura	3
12	Garra unión cuerpo - carcasa eje	3
13	Guía placa de reglaje	1
14	Placa base	1
15	Placa de ajuste	1
16	Placa de fondo guía-tacos sujección	2
17	Placa lateral sistema de reglaje	2
18	Plancha trasera	2
19	Pletina inferior de sujección	1
20	Pletina superior de sujección	1
21	Refuerzo placa base	10
22	Revestimiento antidesgaste	1
23	Soporte vástago de amortiguación	2
24	Tacos de sujección guía placa reglaje	4
25	Tornillo de sujección	2

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Mandíbula móvil. Piezas

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

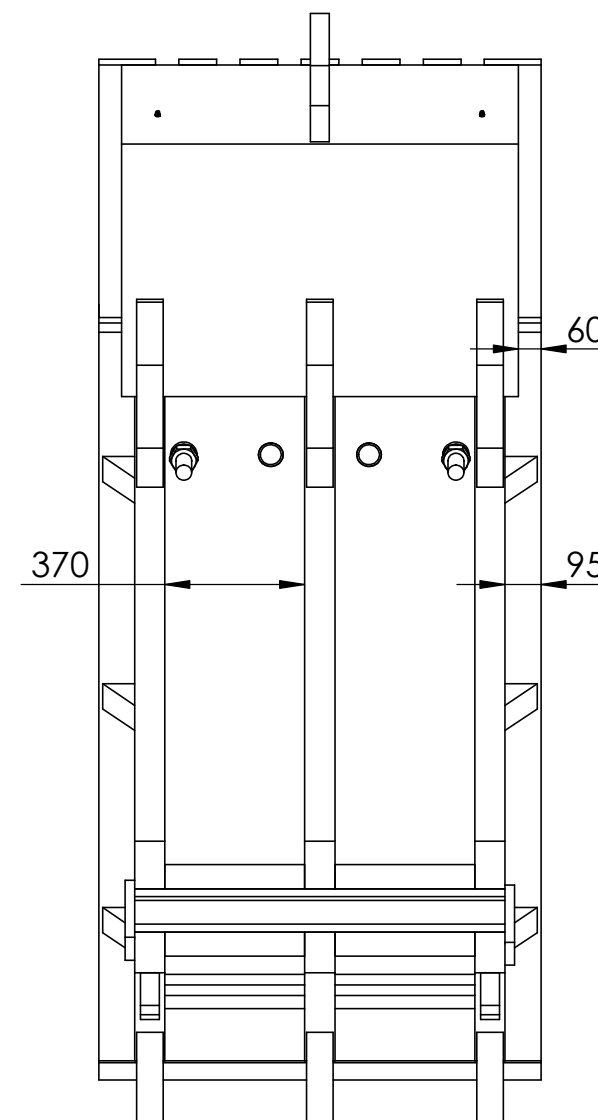
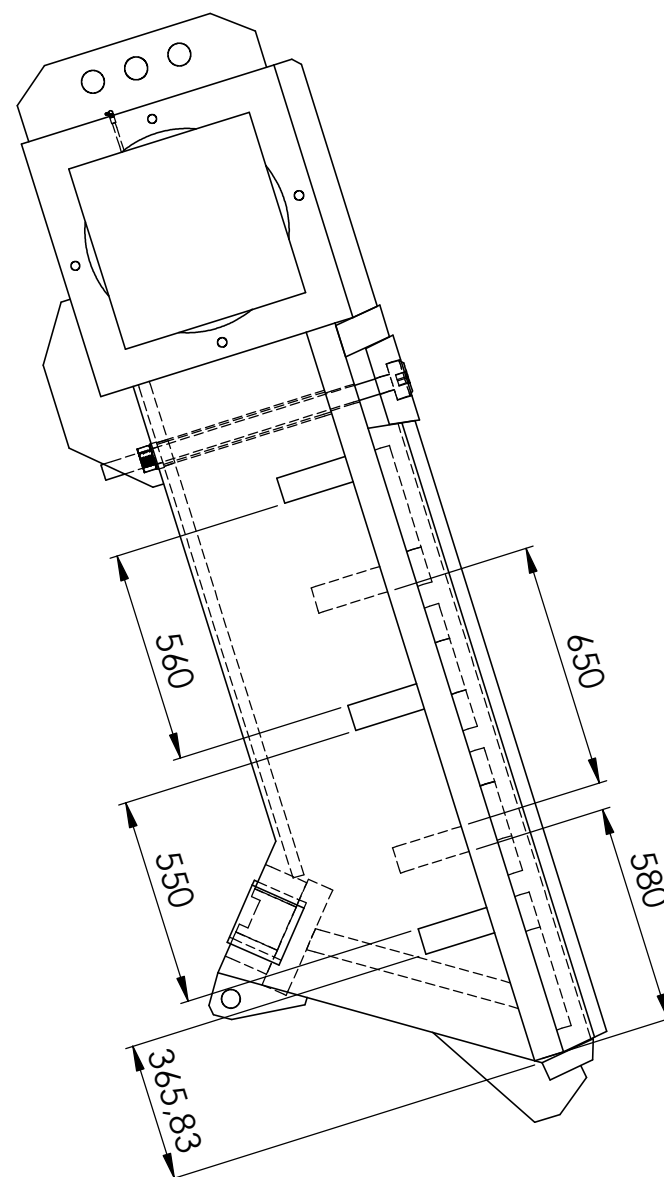
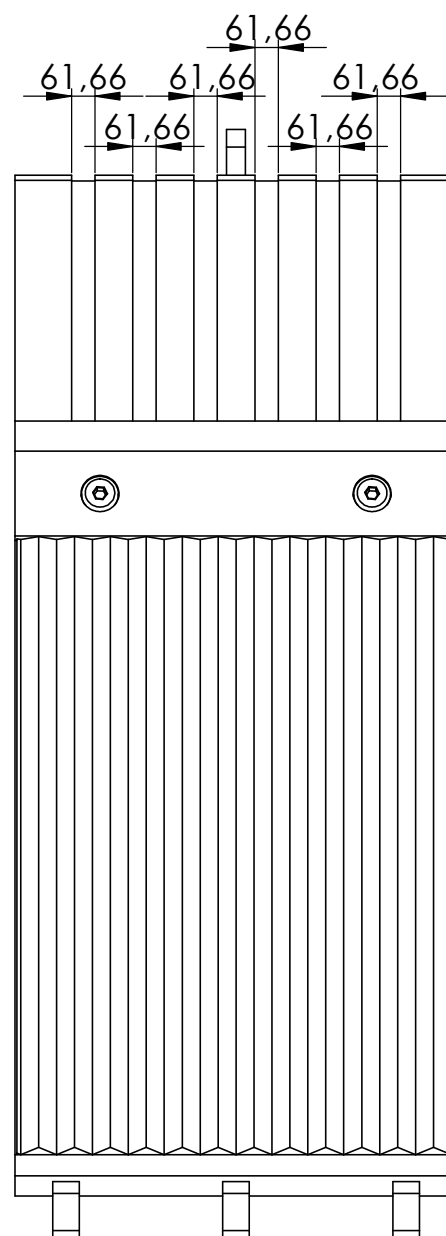
Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Hoja Nº 225

A3 Plano Nº 18



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Mandíbula móvil

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 226

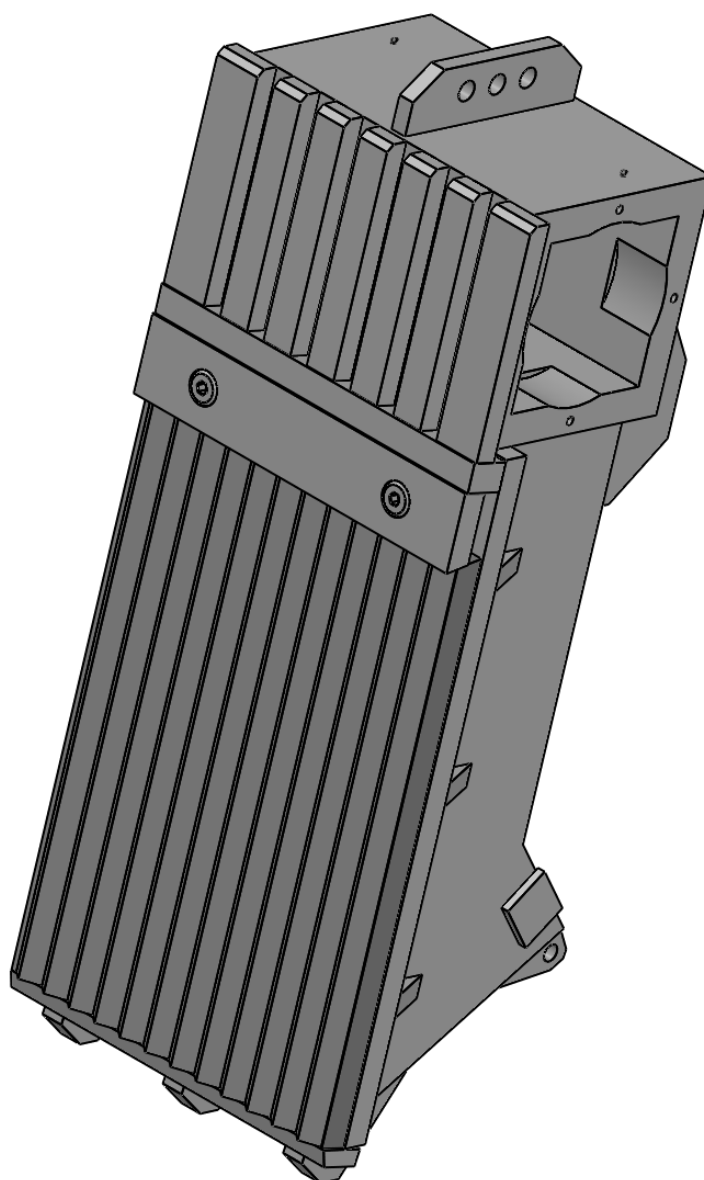
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A3

Plano Nº 19



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Mandíbula móvil. 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 227

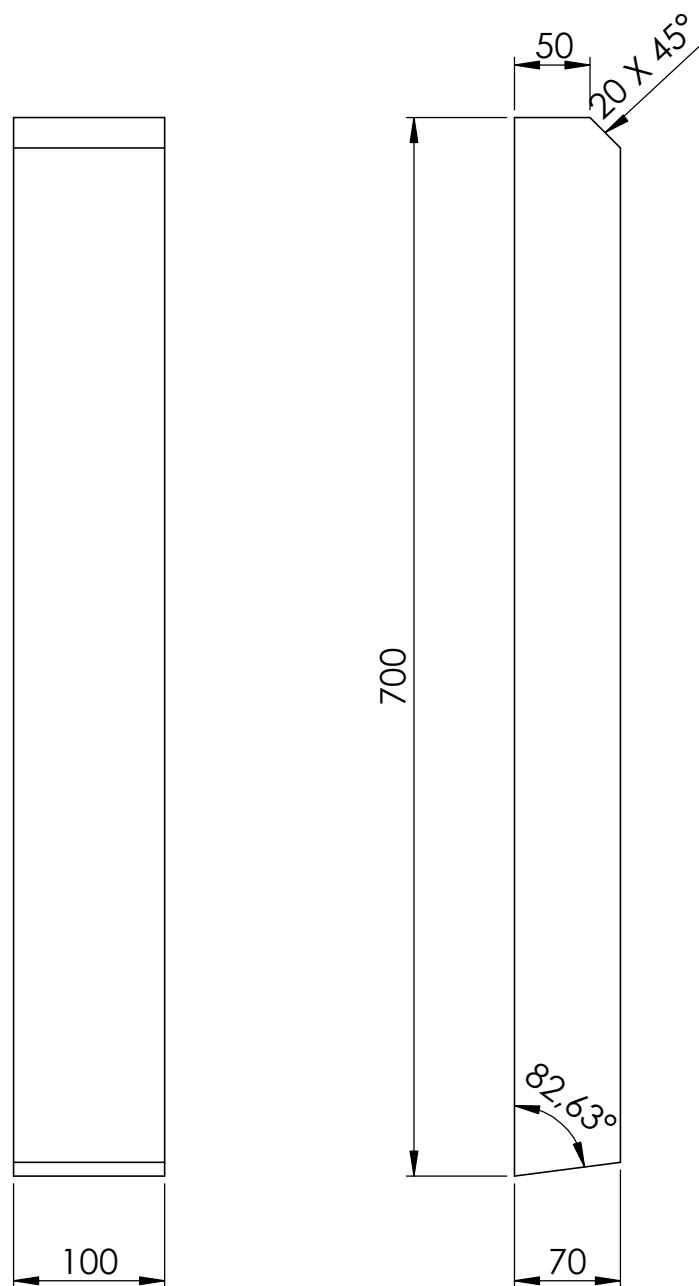
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 20



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Barra central de protección carcasa eje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 228

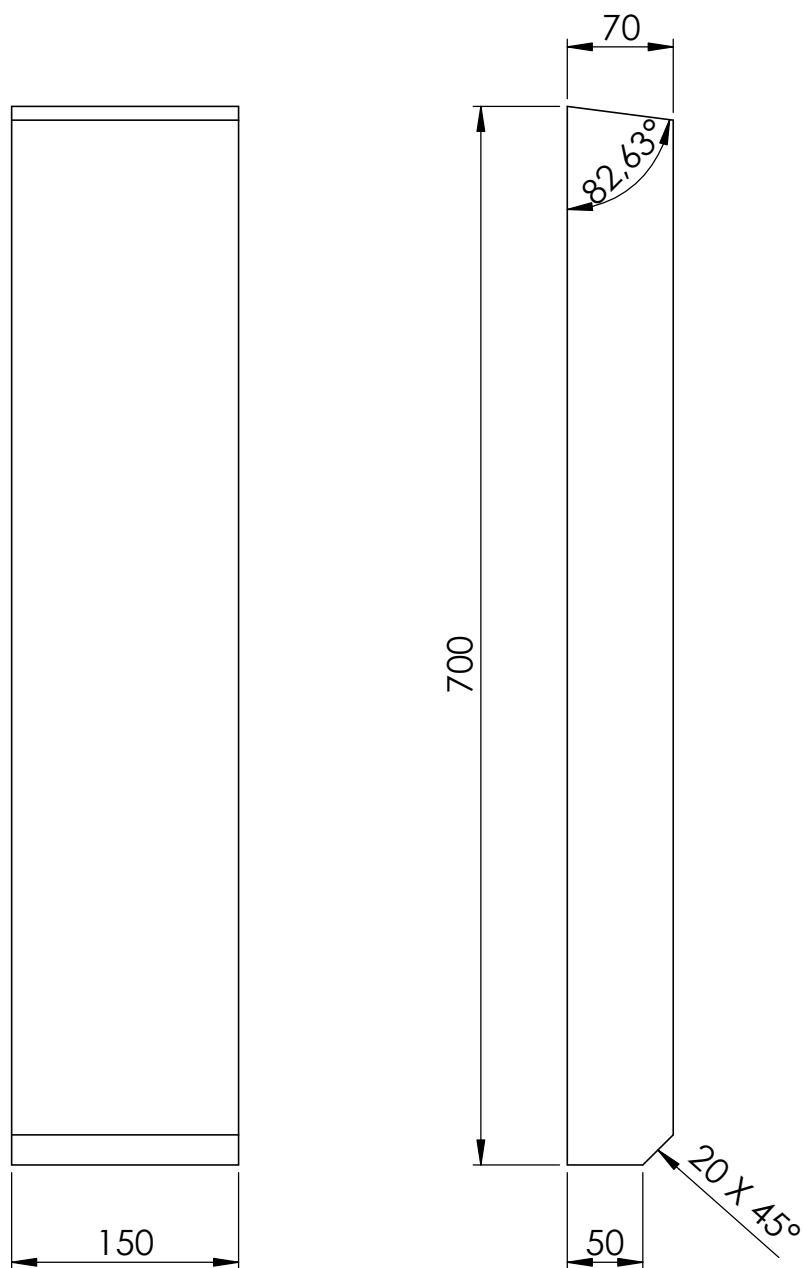
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 21



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Barra extremo protección carcasa eje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

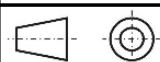
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 229

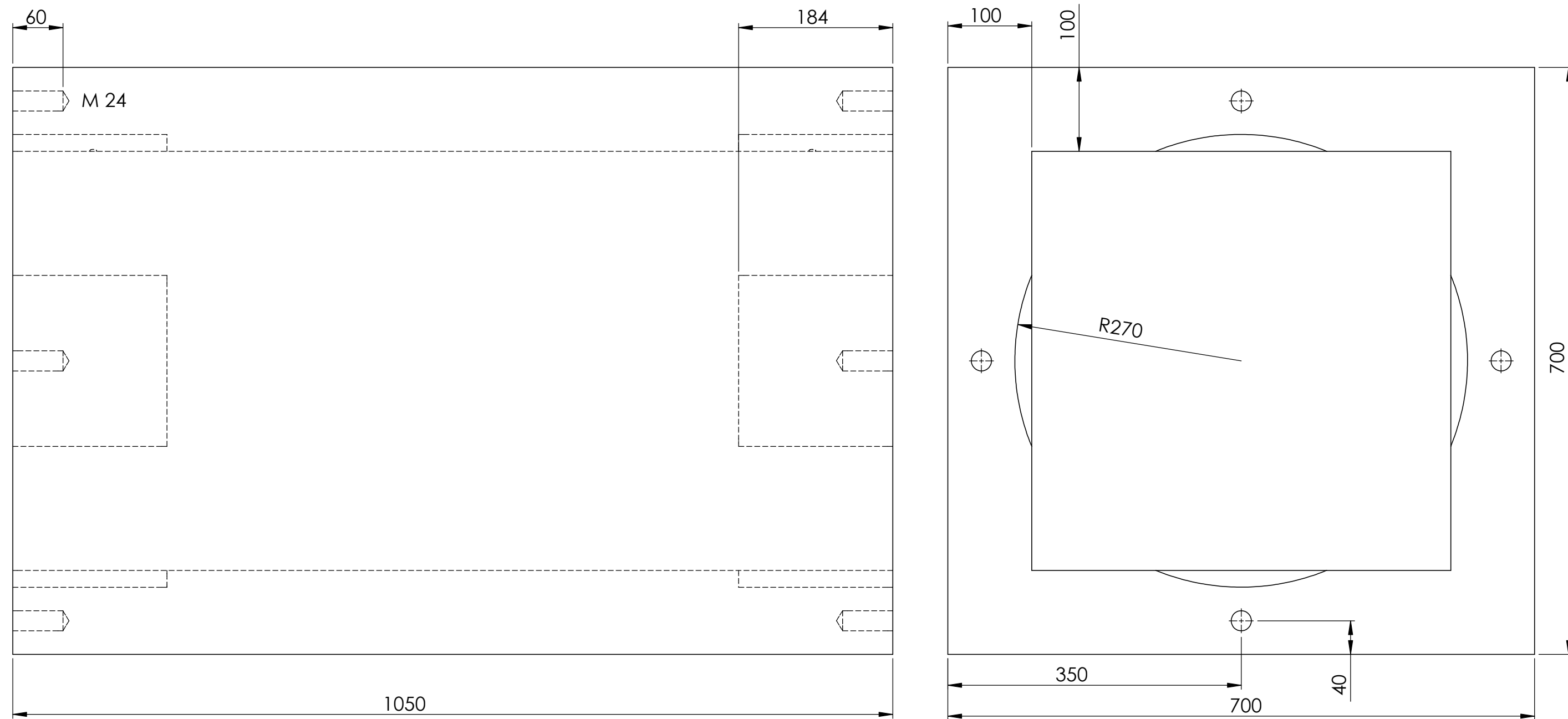
Comprobado



J.F.C.O.

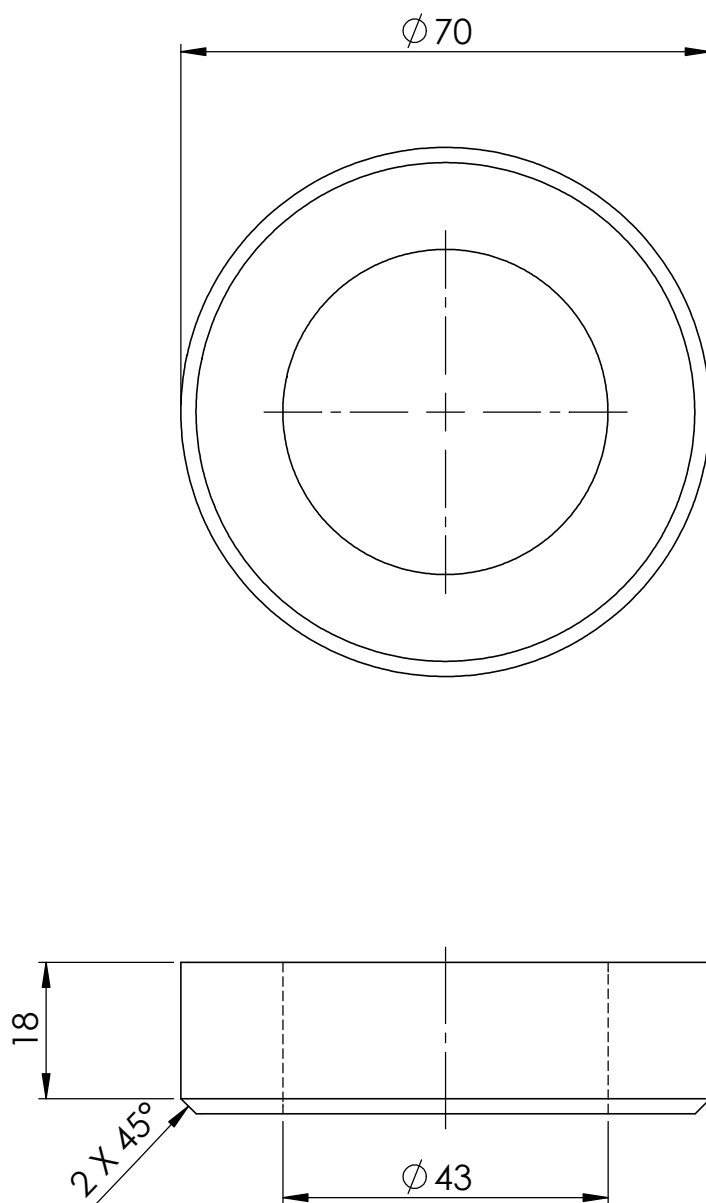
01/09/2014

A4

Plano N° 22



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos					
Carcasa del eje				José Francisco Carpena Ortega - UPCT	
				Escala 1:5	
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena		Hoja Nº 230
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3	Plano Nº 23



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Casquillo arandela del vástago de sujeción

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:1

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 231

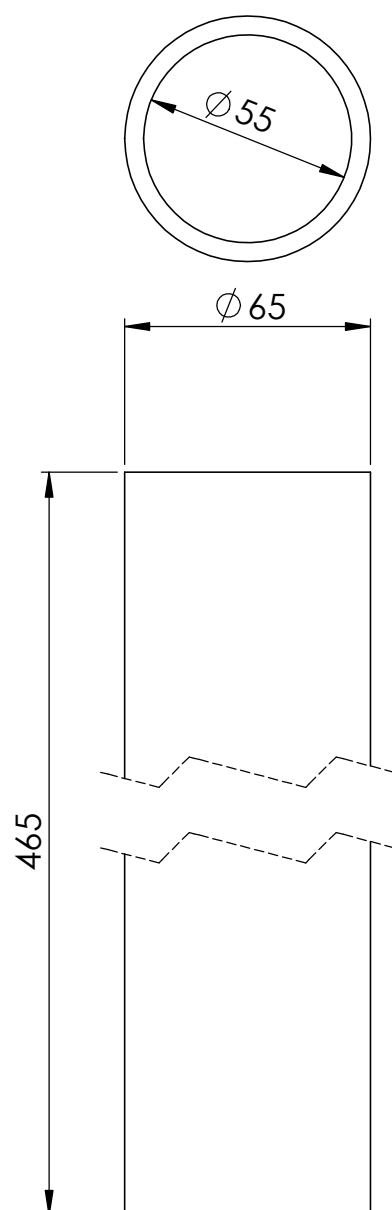
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 24



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Casquillo de protección vástago

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 232

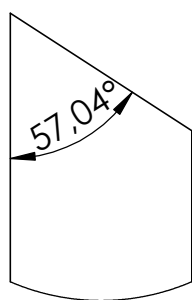
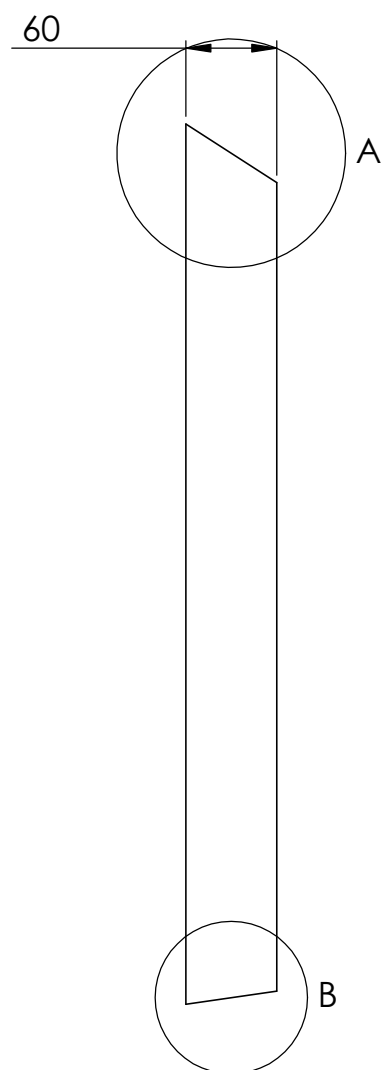
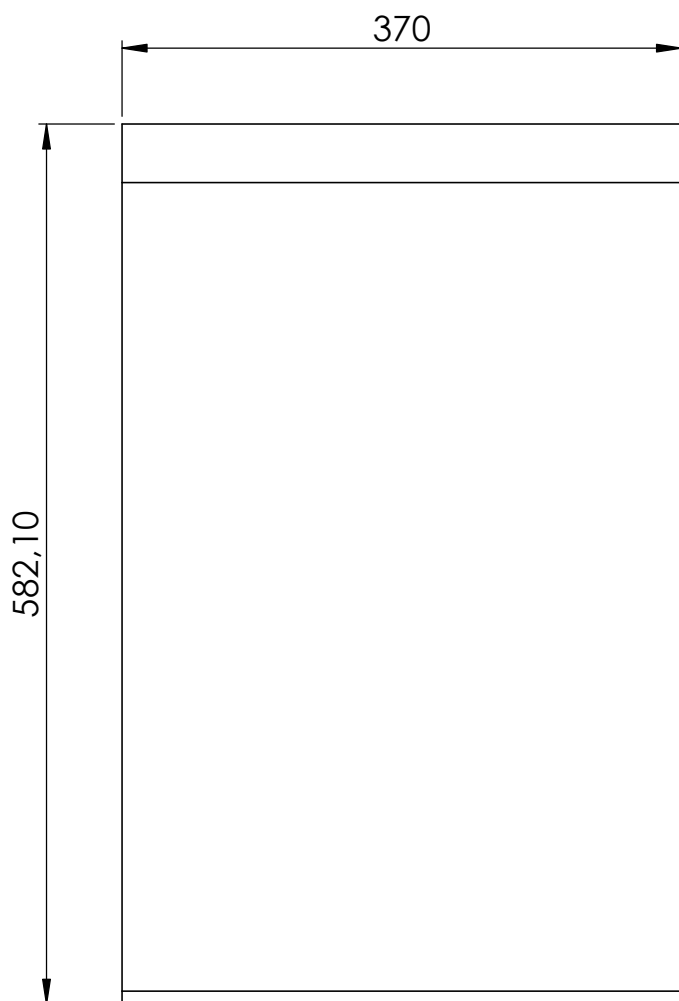
Comprobado

J.F.C.O.

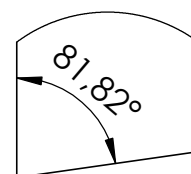
01/09/2014

A4

Plano N° 25



DETALLE A
ESCALA 2 : 5



DETALLE B
ESCALA 2 : 5

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chapa inferior inter-estructura

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 233

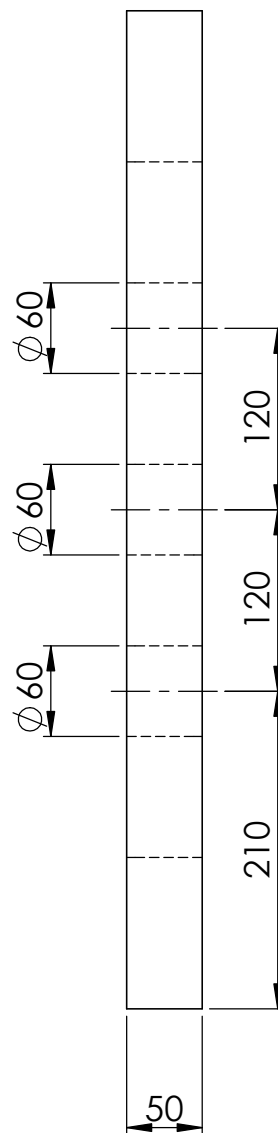
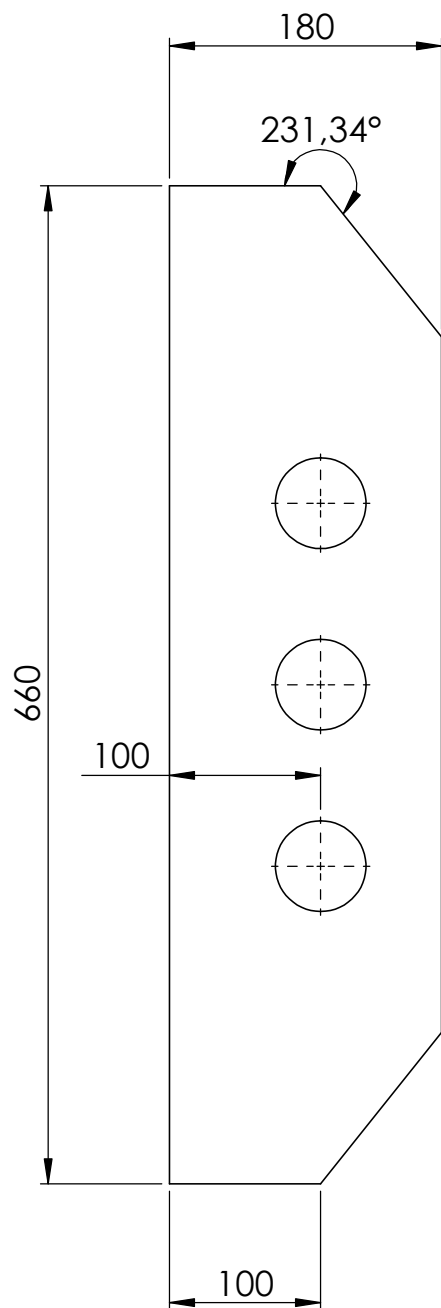
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 26



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Enganche carcasa eje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

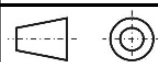
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 234

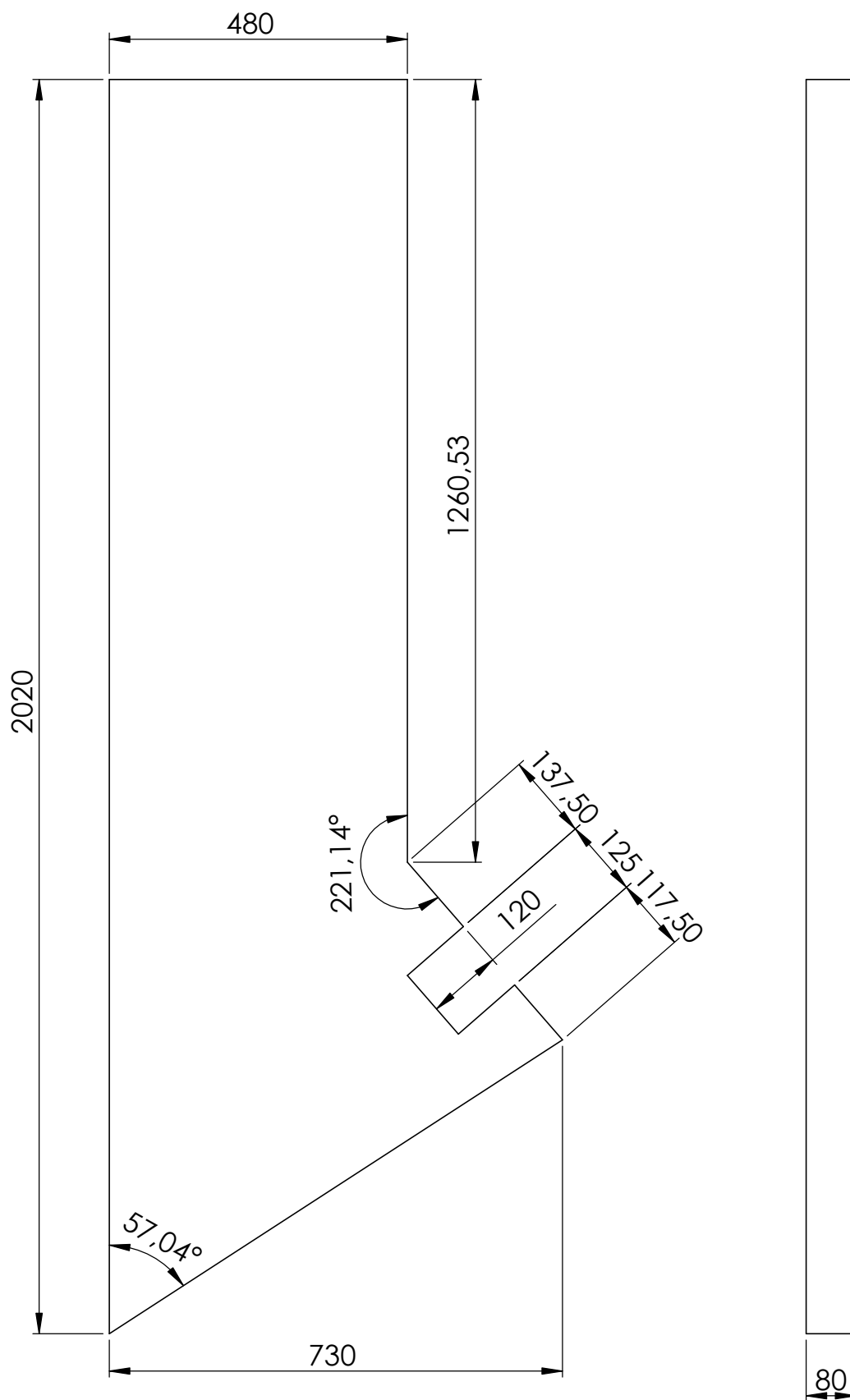
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 27



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Estructura portamandíbulas

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 235

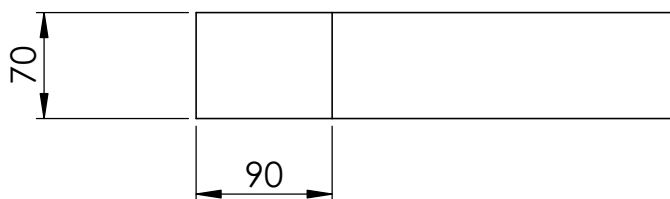
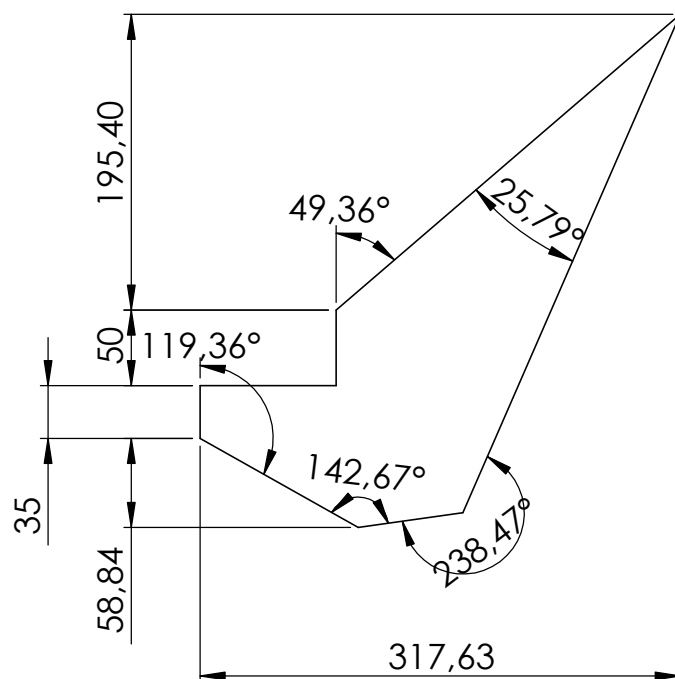
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 28



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Garra pletina inferior - placa estructural

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 236

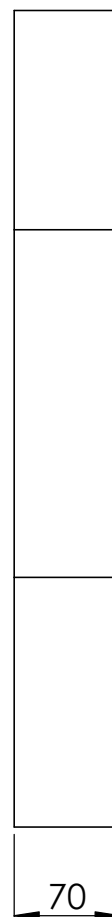
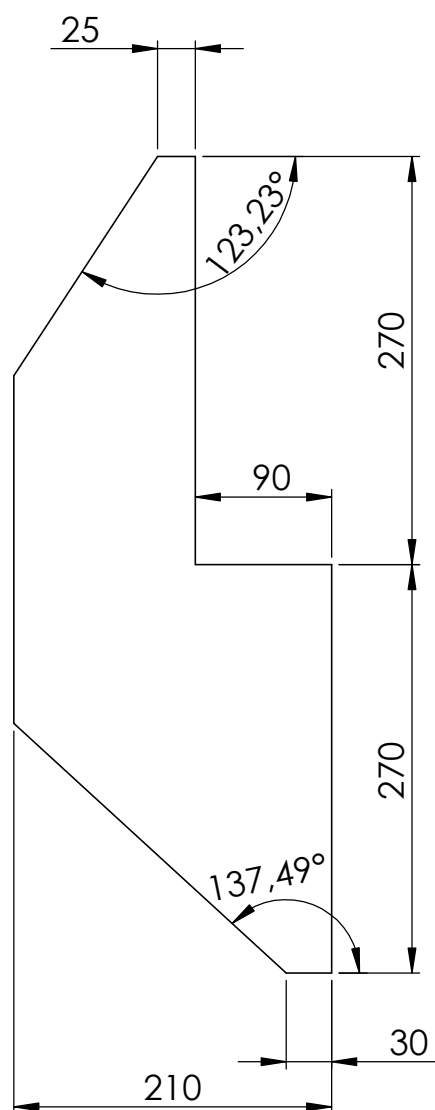
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 29



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Garras unión cuerpo - carcasa eje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 237

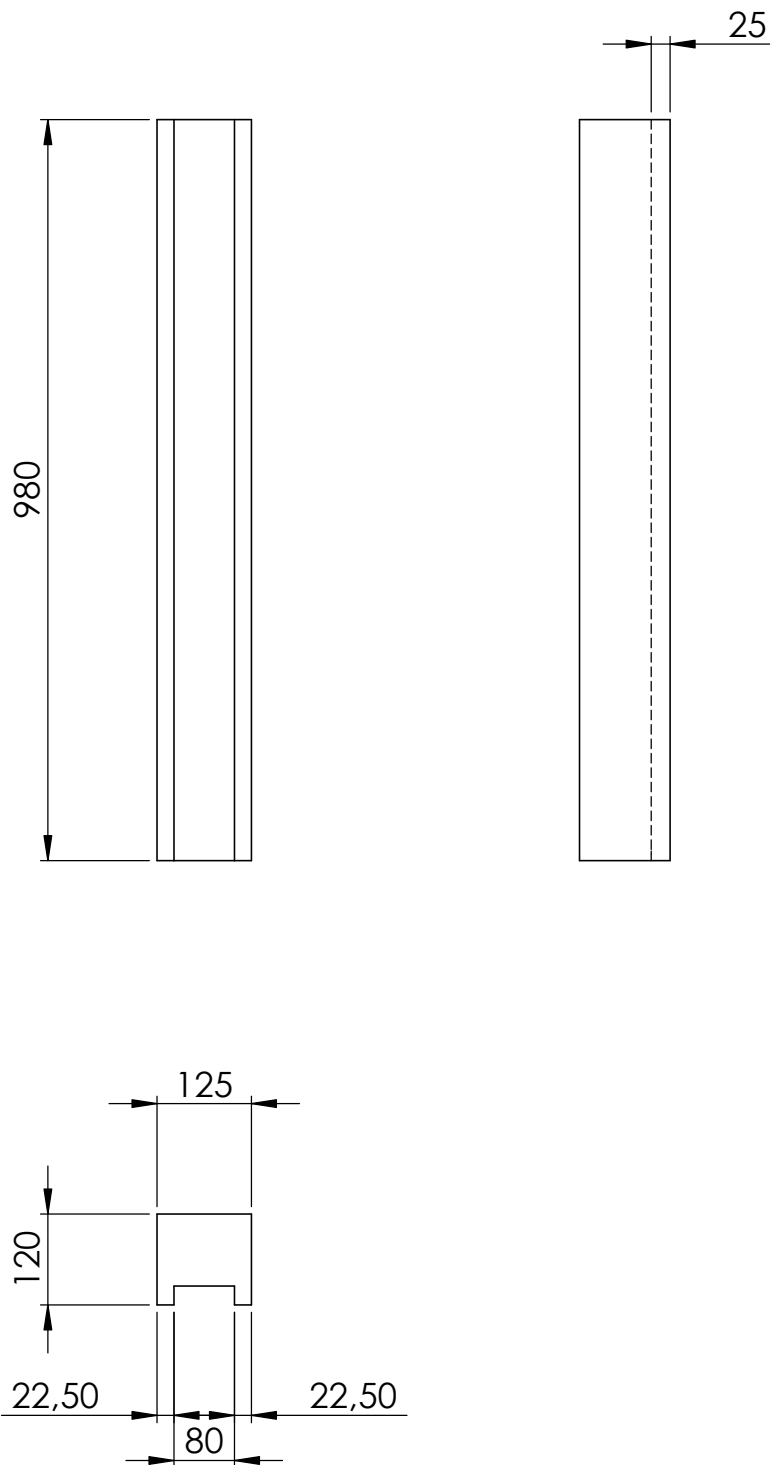
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 30



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Guía placa de reglaje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 238

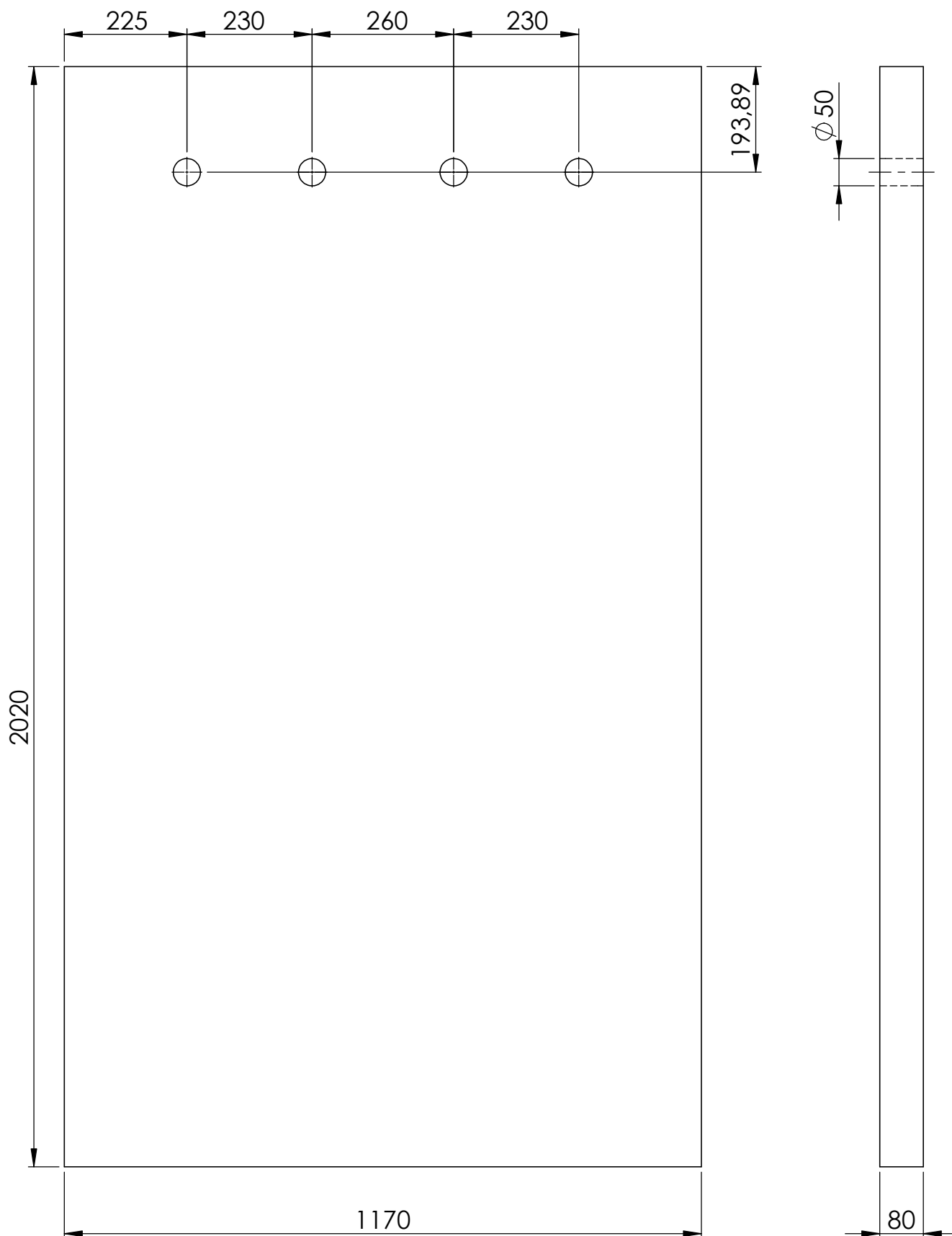
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 31



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Placa base

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 239

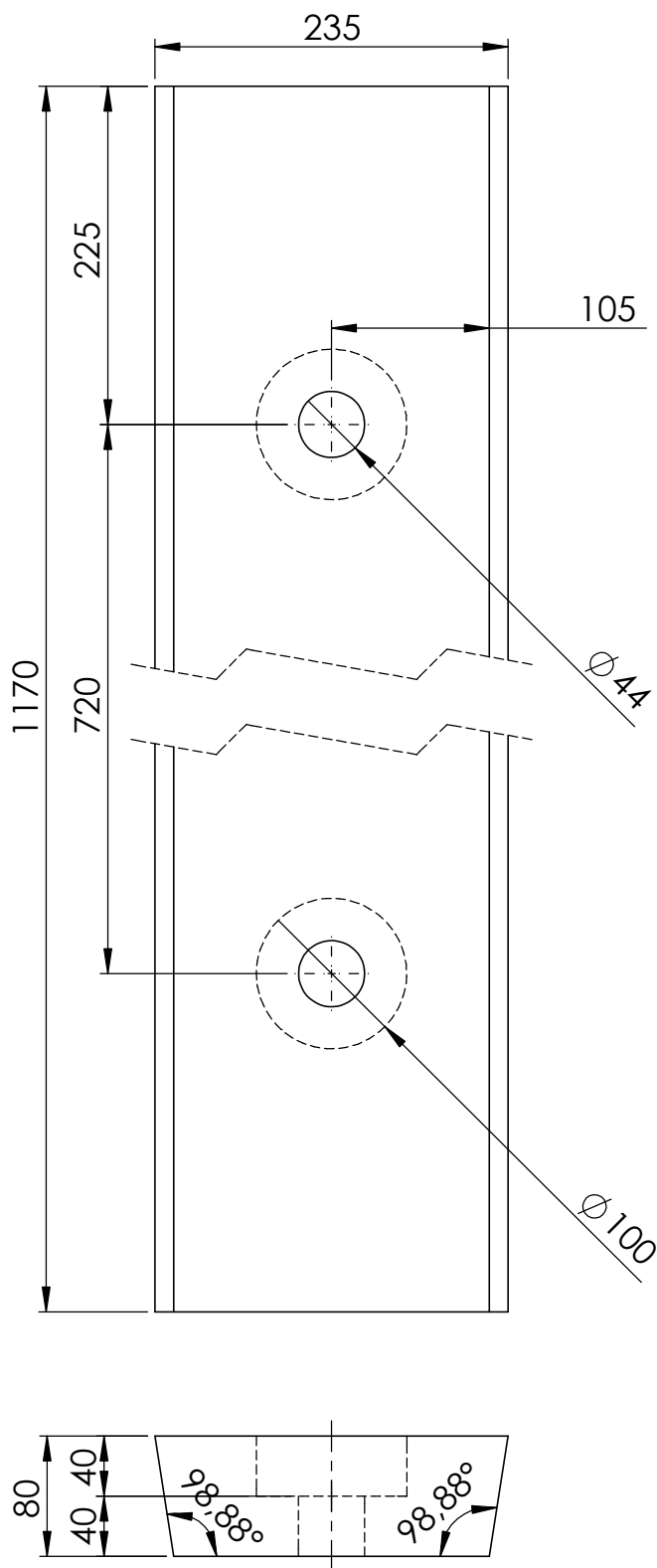
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 32



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Placa de ajuste

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

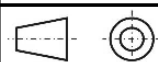
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 240

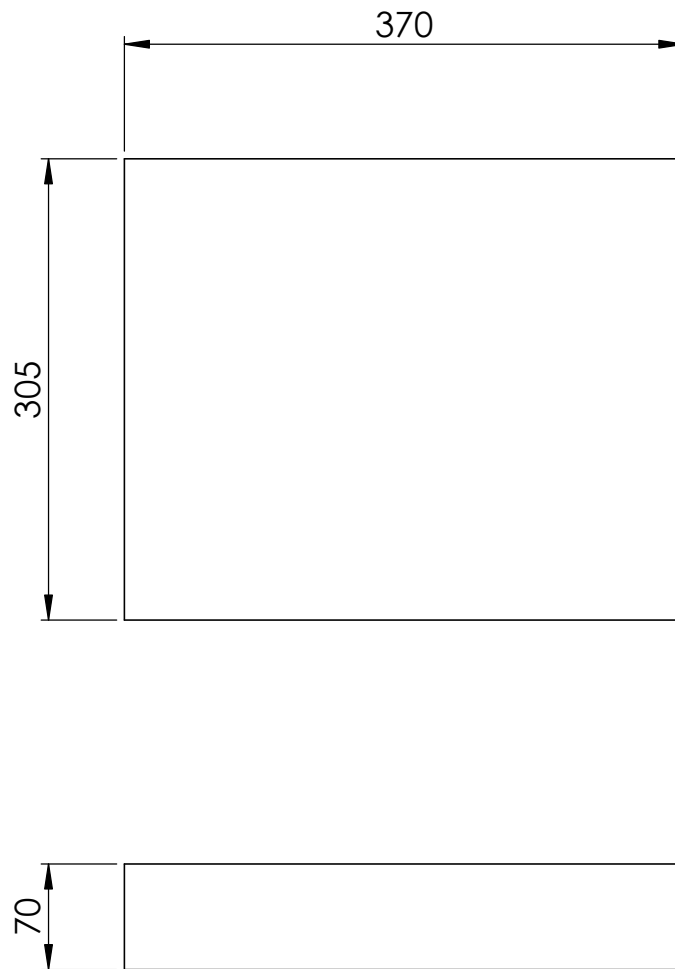
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 33



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Placa de fondo guía - tacos de sujección

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 241

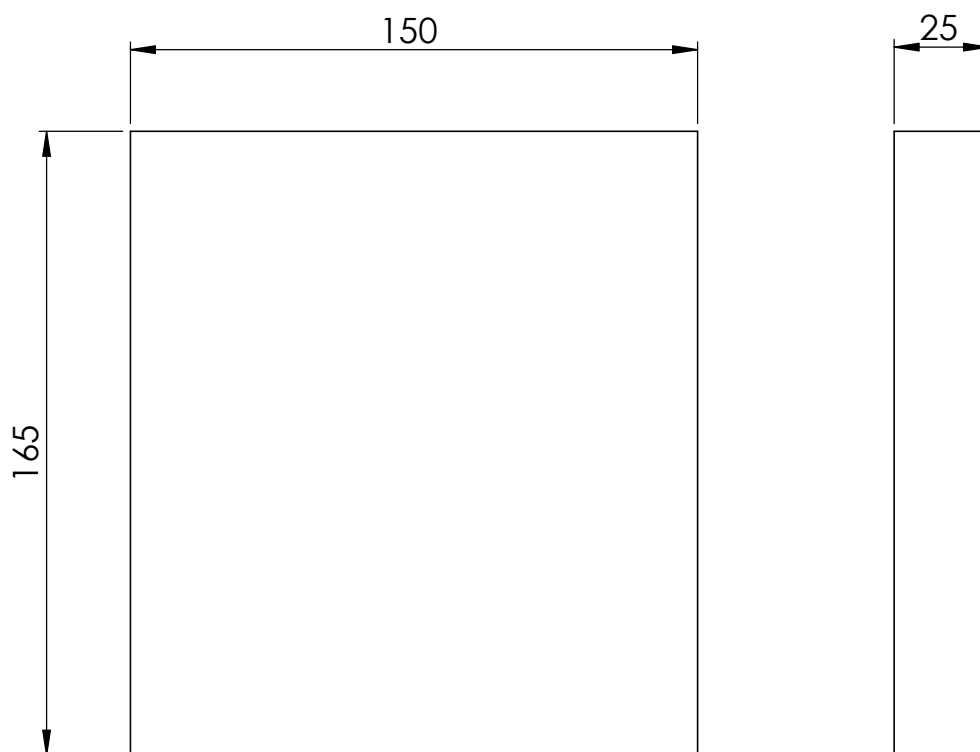
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 34



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Placa lateral sistema de reglaje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 242

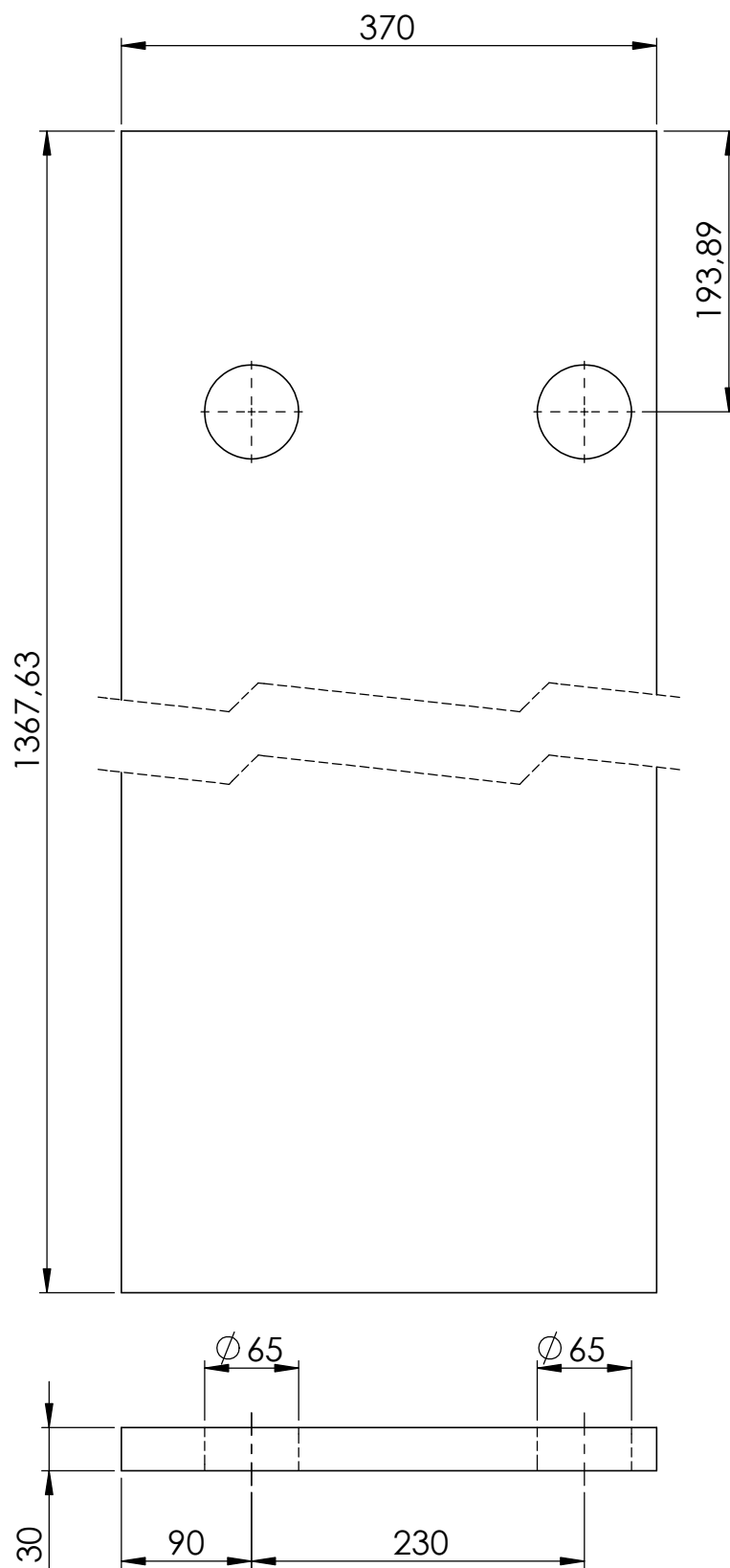
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 35



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Plancha trasera

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 243

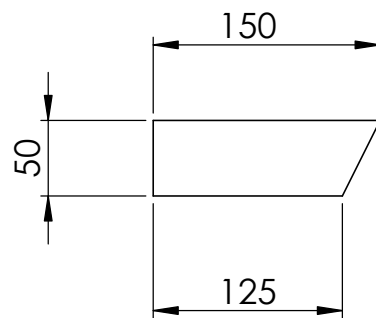
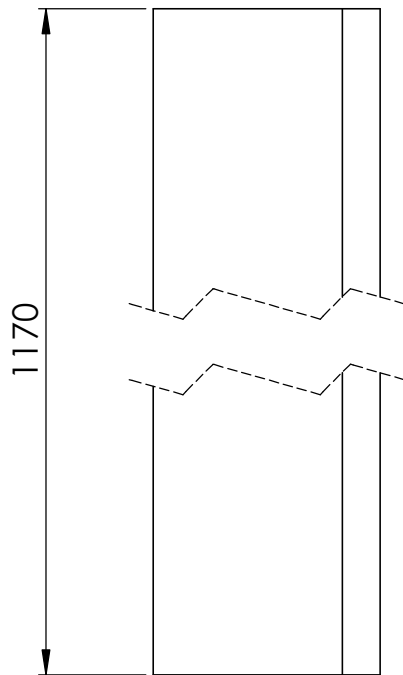
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 36



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Pletina inferior de sujección

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 244

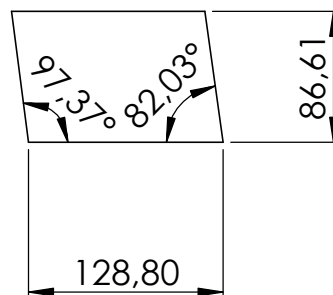
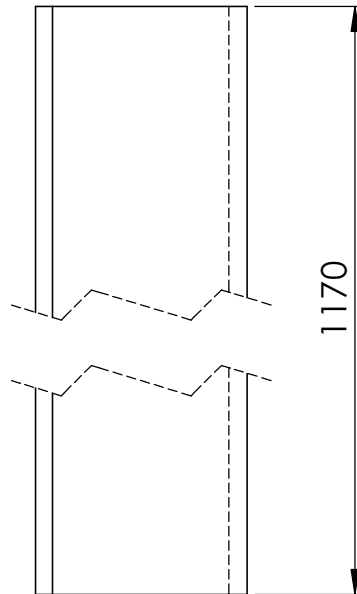
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 37



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Pletina superior de sujección

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 245

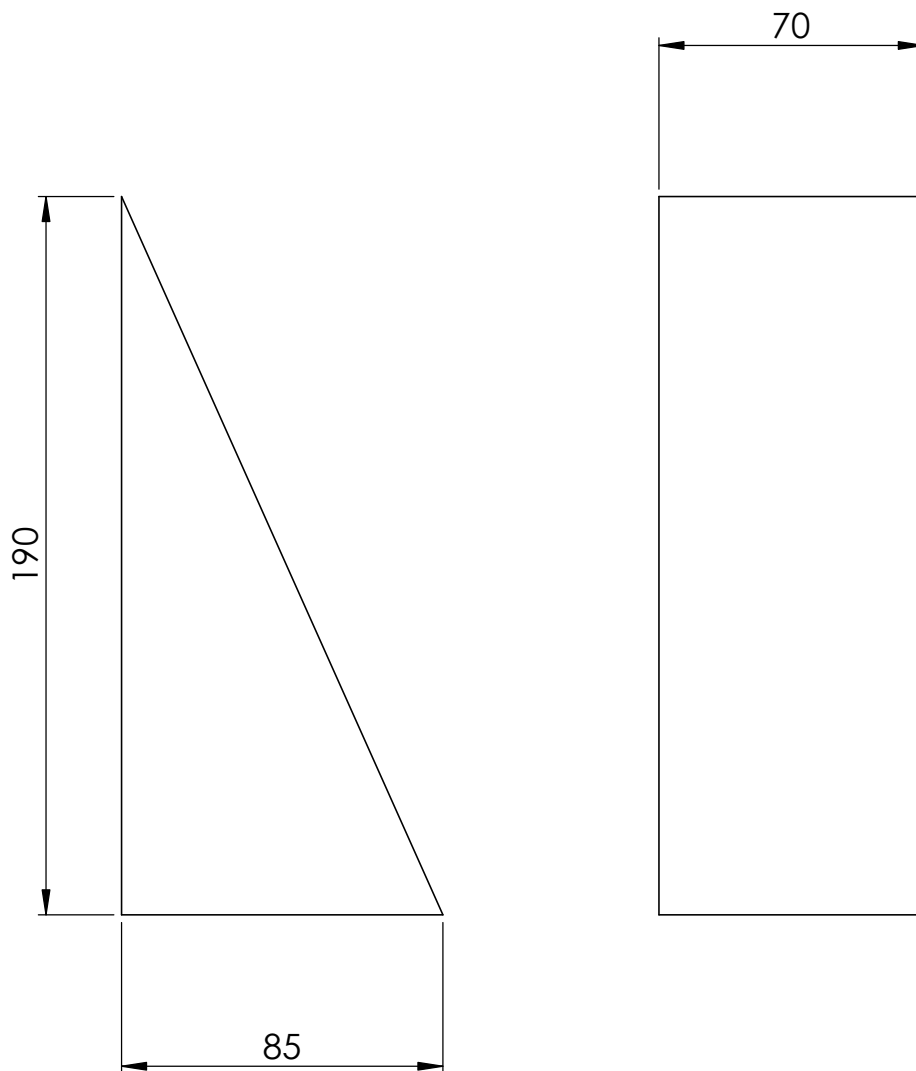
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 38



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo placa base

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 246

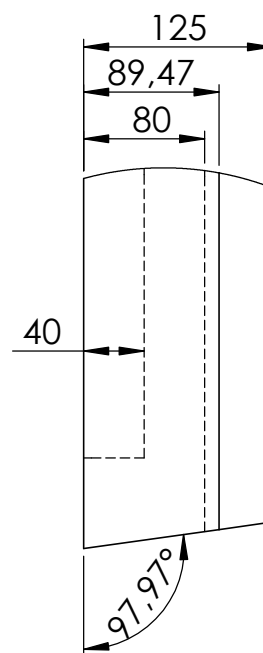
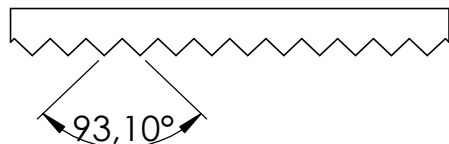
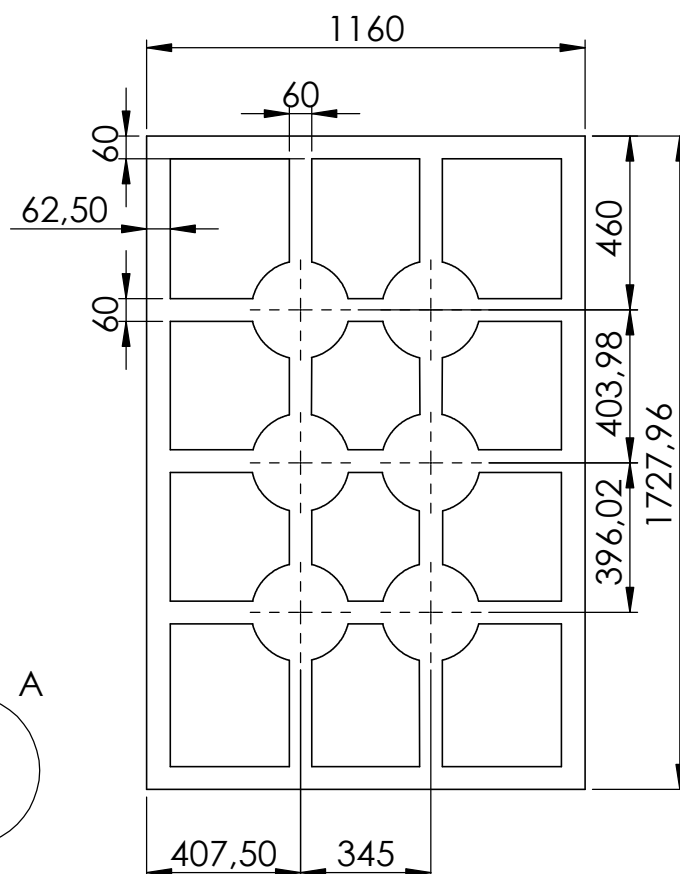
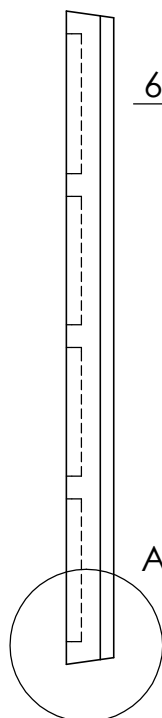
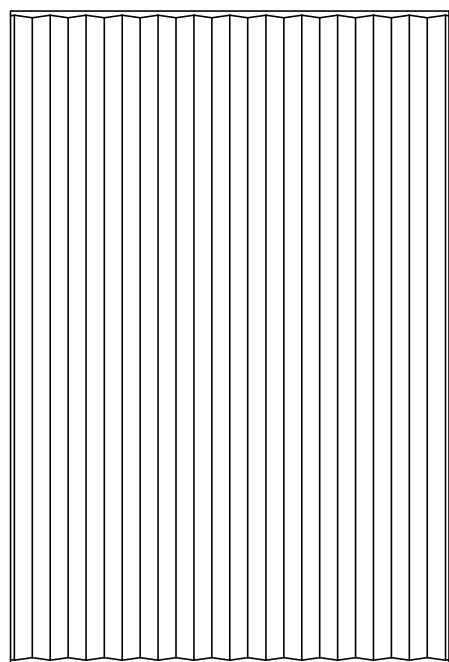
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 39



DETALLE A
ESCALA 1 : 5

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Revestimiento antidesgaste

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 247

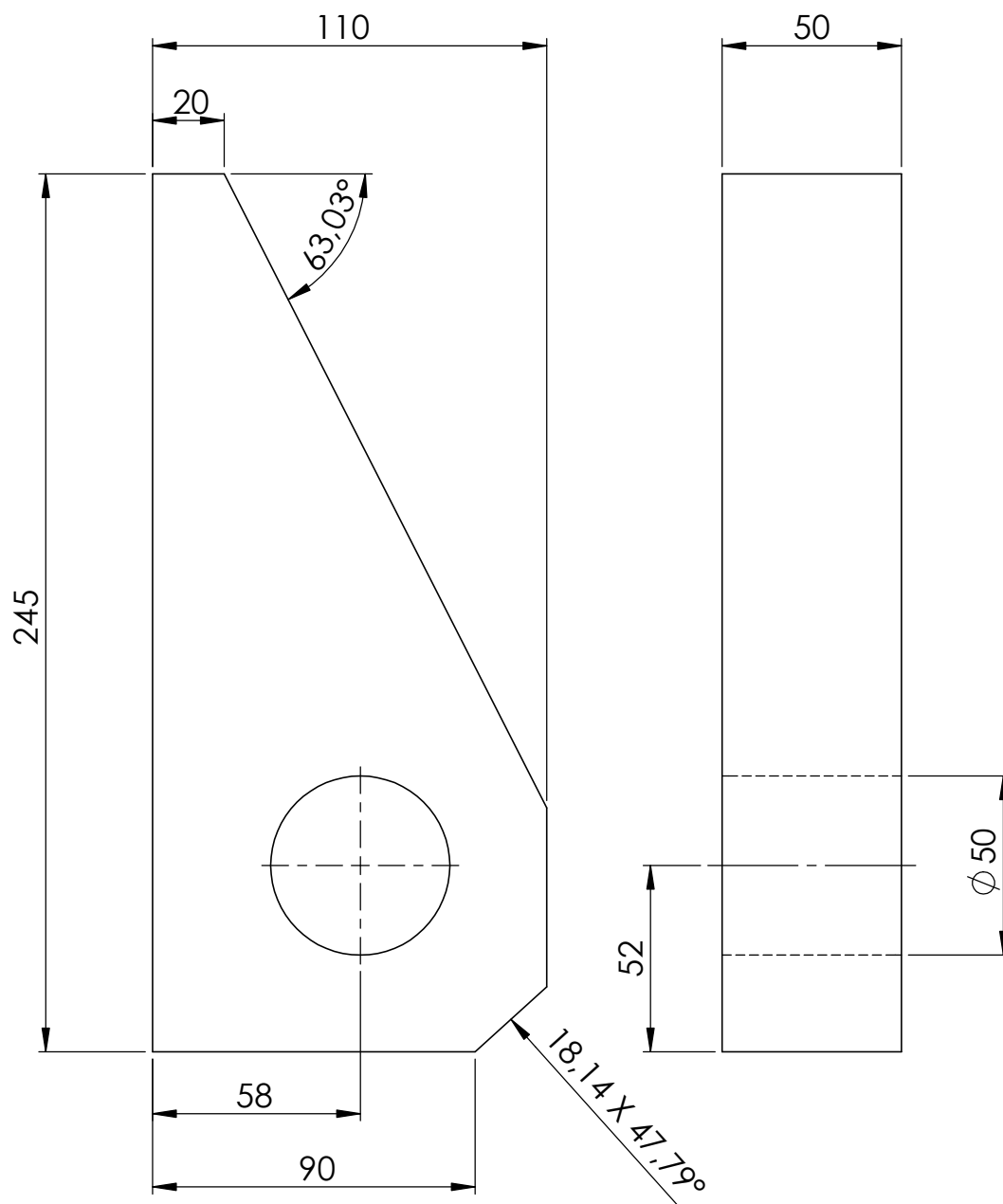
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 40



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte vástago de amortiguación

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 248

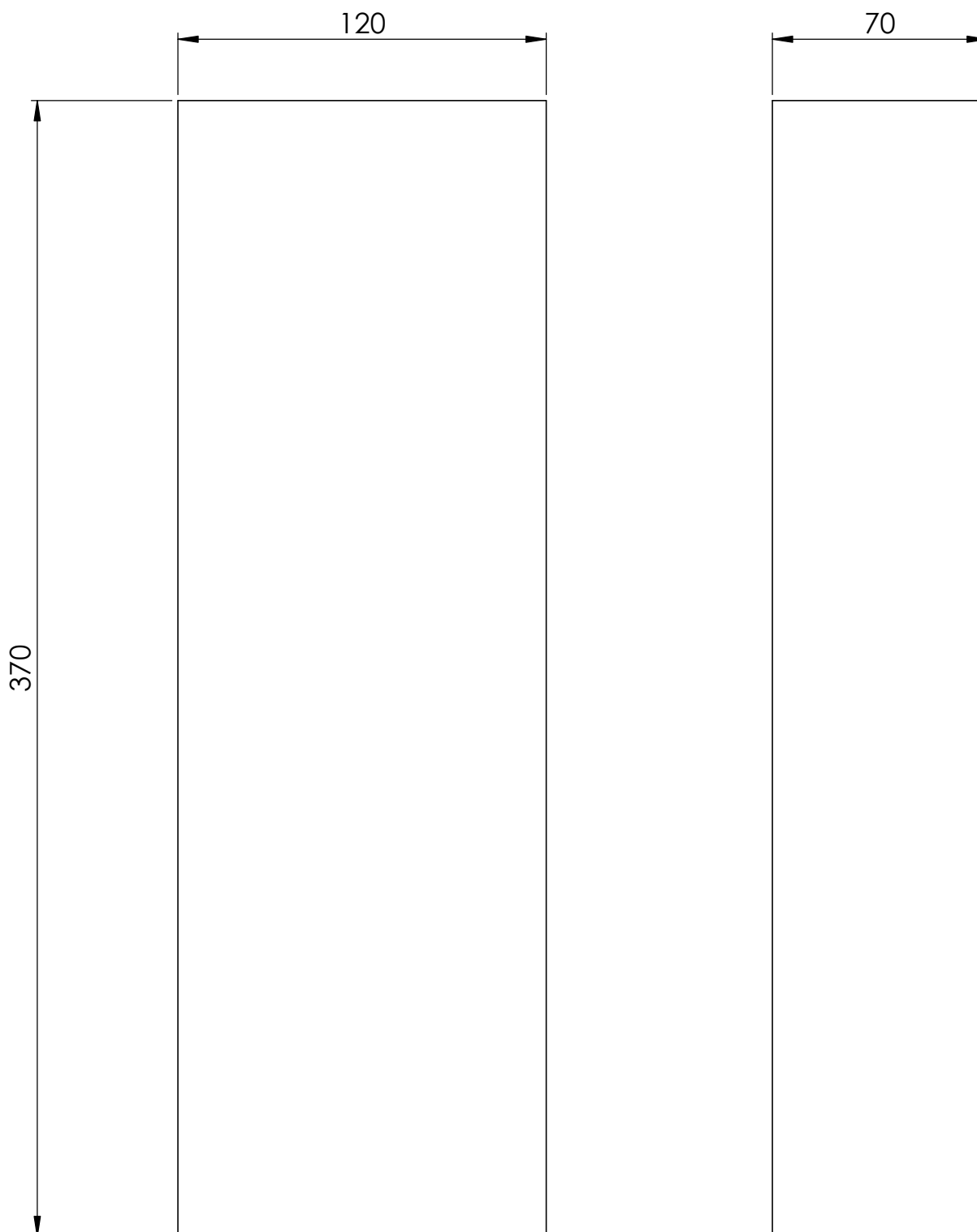
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 41



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Taco de sujección guía placa de reglaje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 249

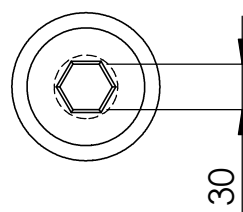
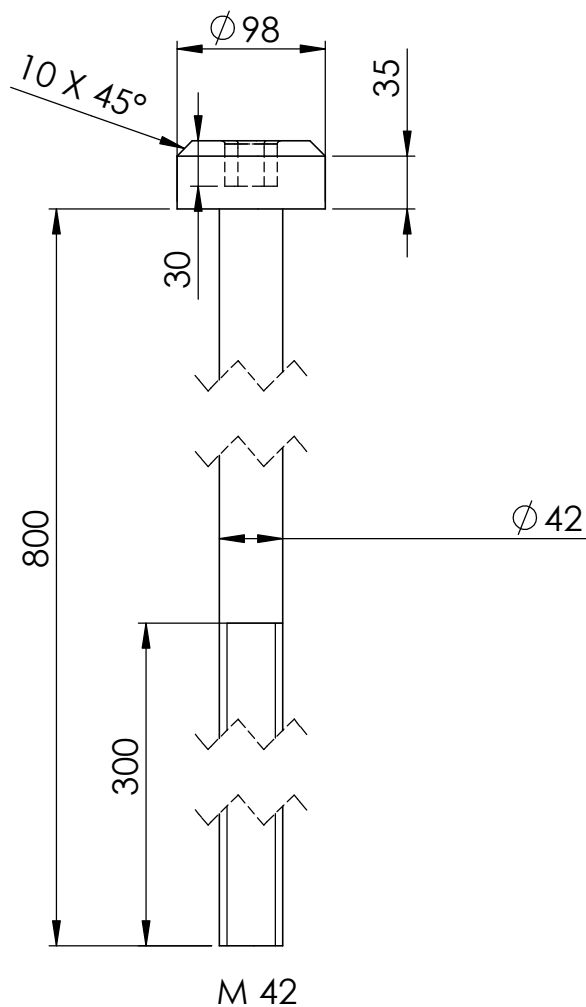
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 42



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tornillo de sujección

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

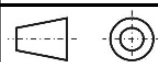
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 250

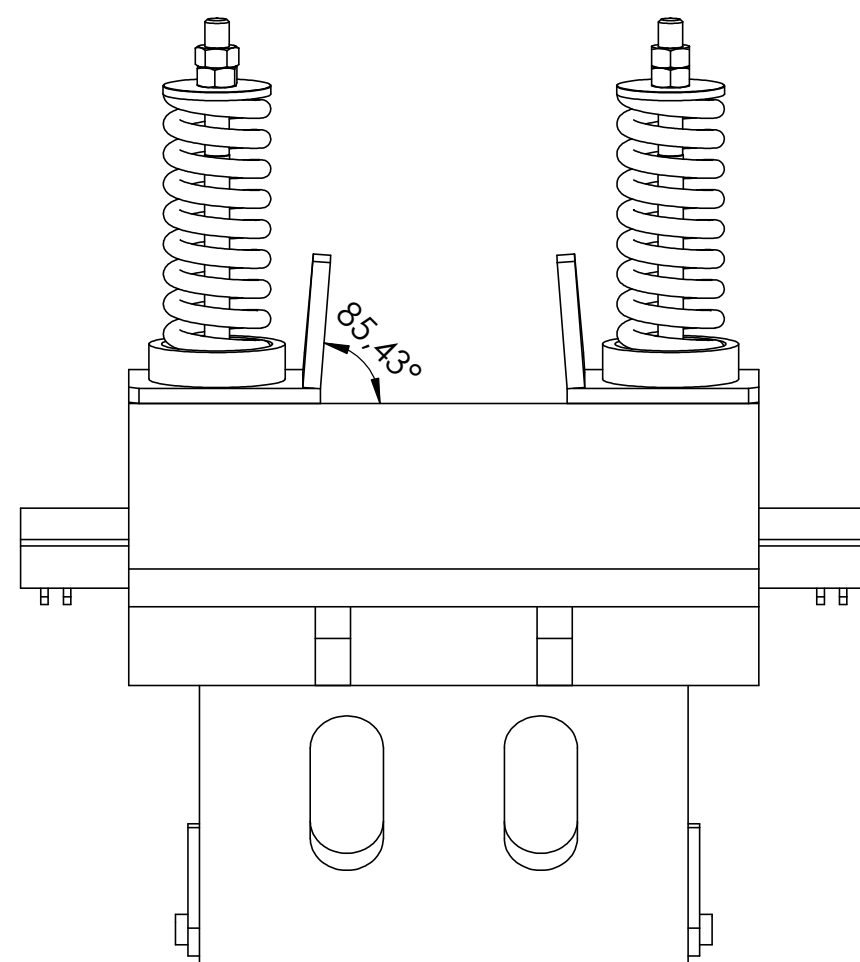
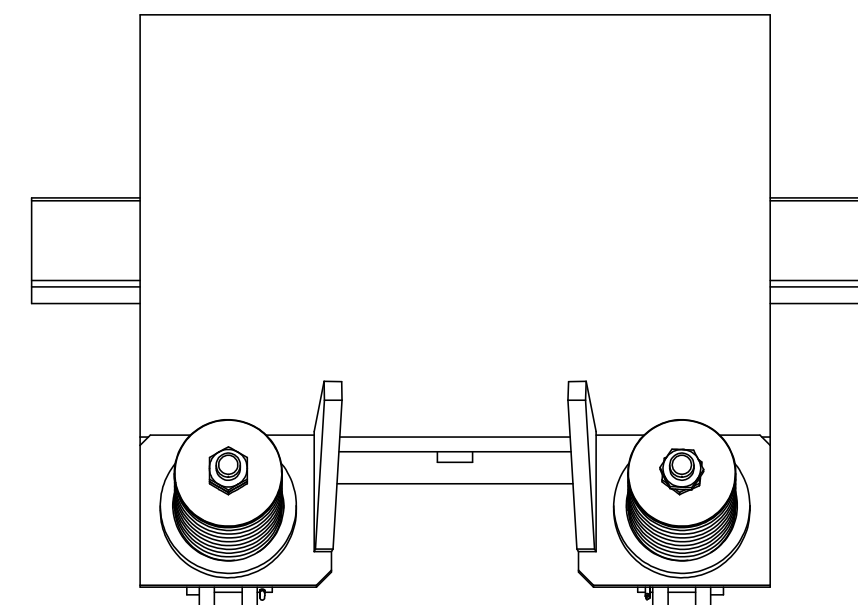
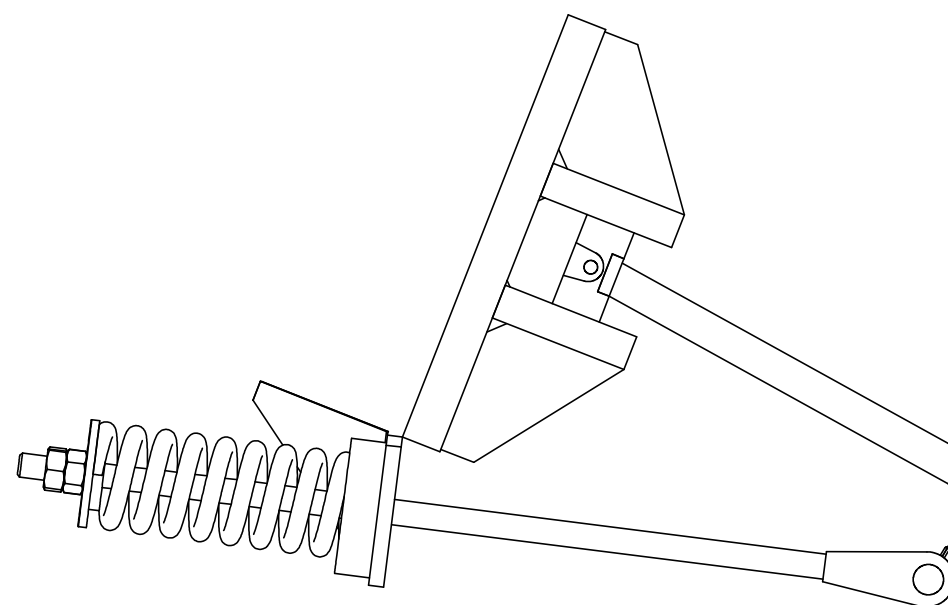
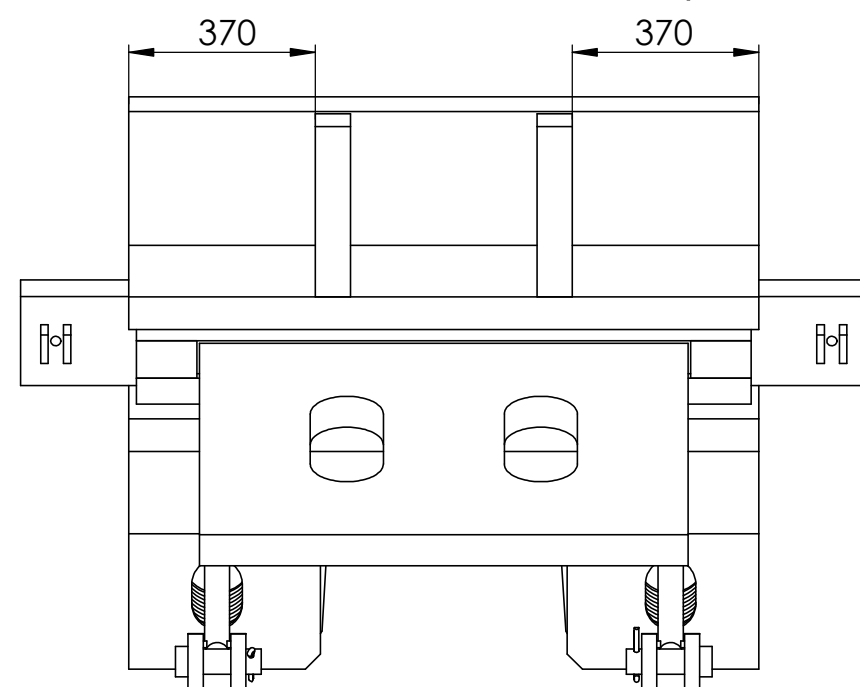
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 43



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Sistema de reglaje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:15

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



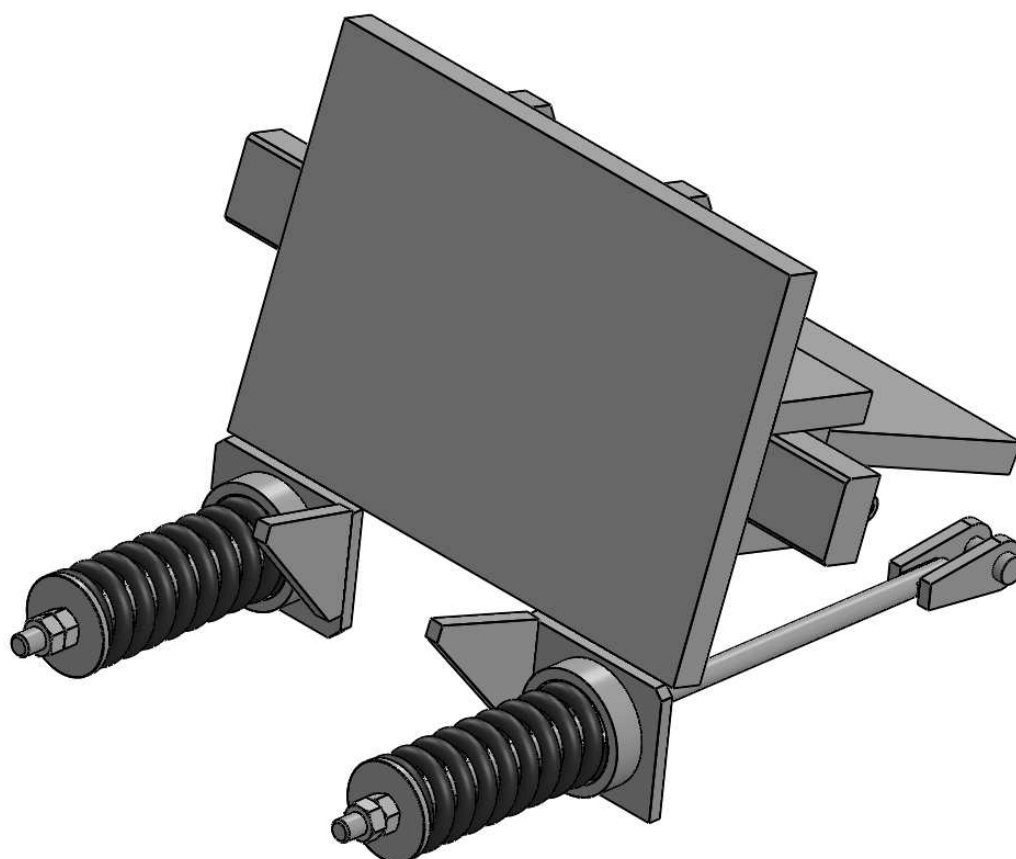
Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 252

A3

Plano N° 45



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Sistema de reglaje 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:15

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 253

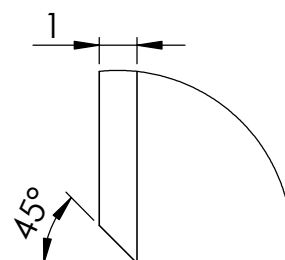
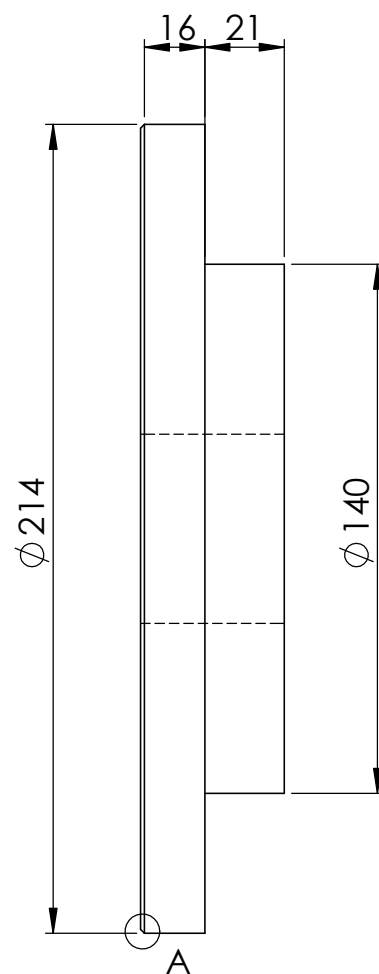
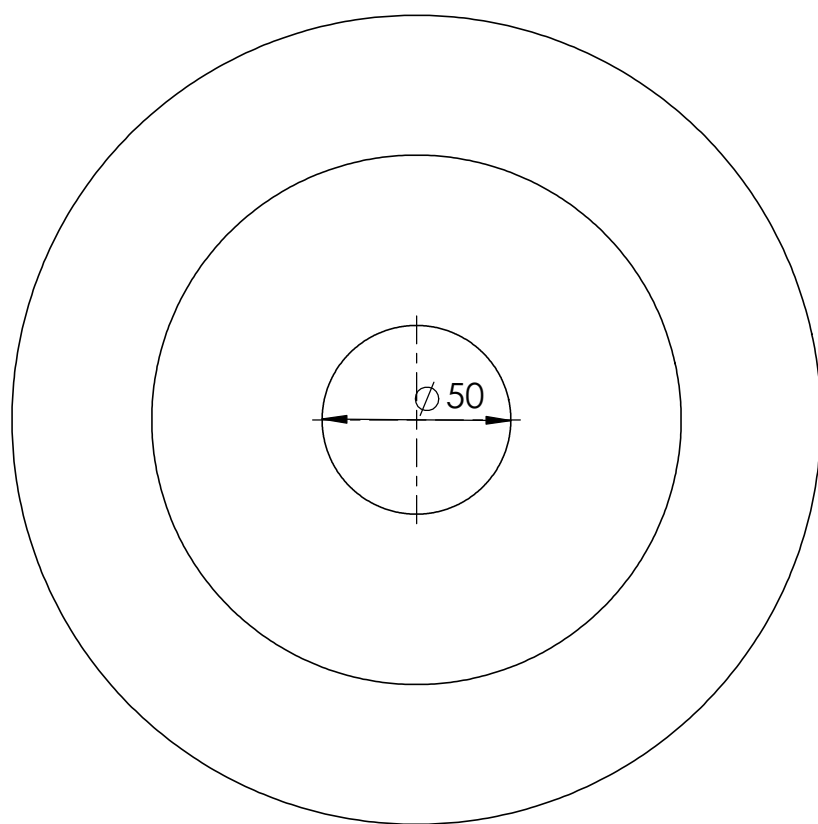
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 46



DETALLE A
ESCALA 5 : 1

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Arandela muelle lado tuerca

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 254

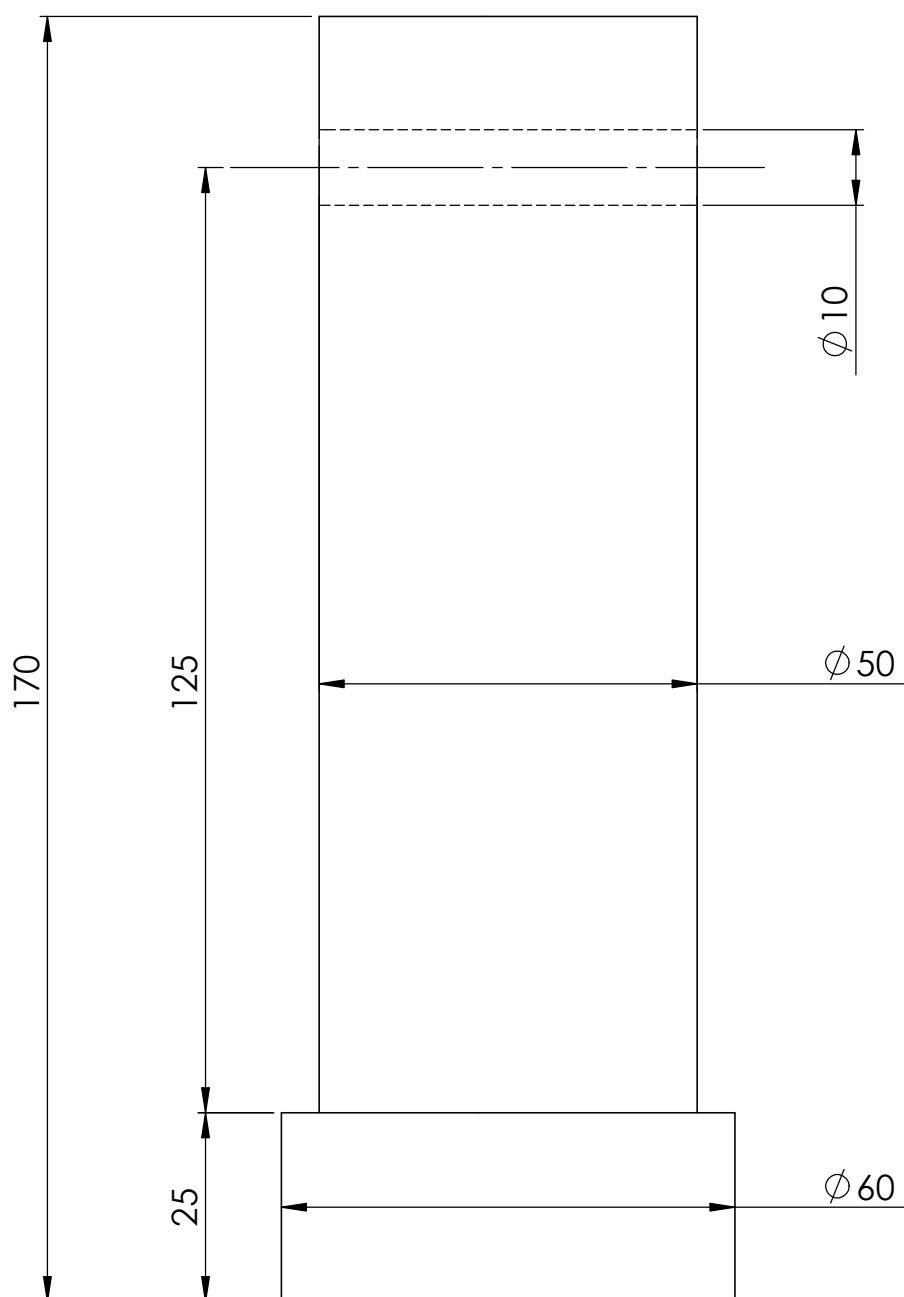
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 47



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Bulón

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:1

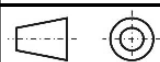
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 255

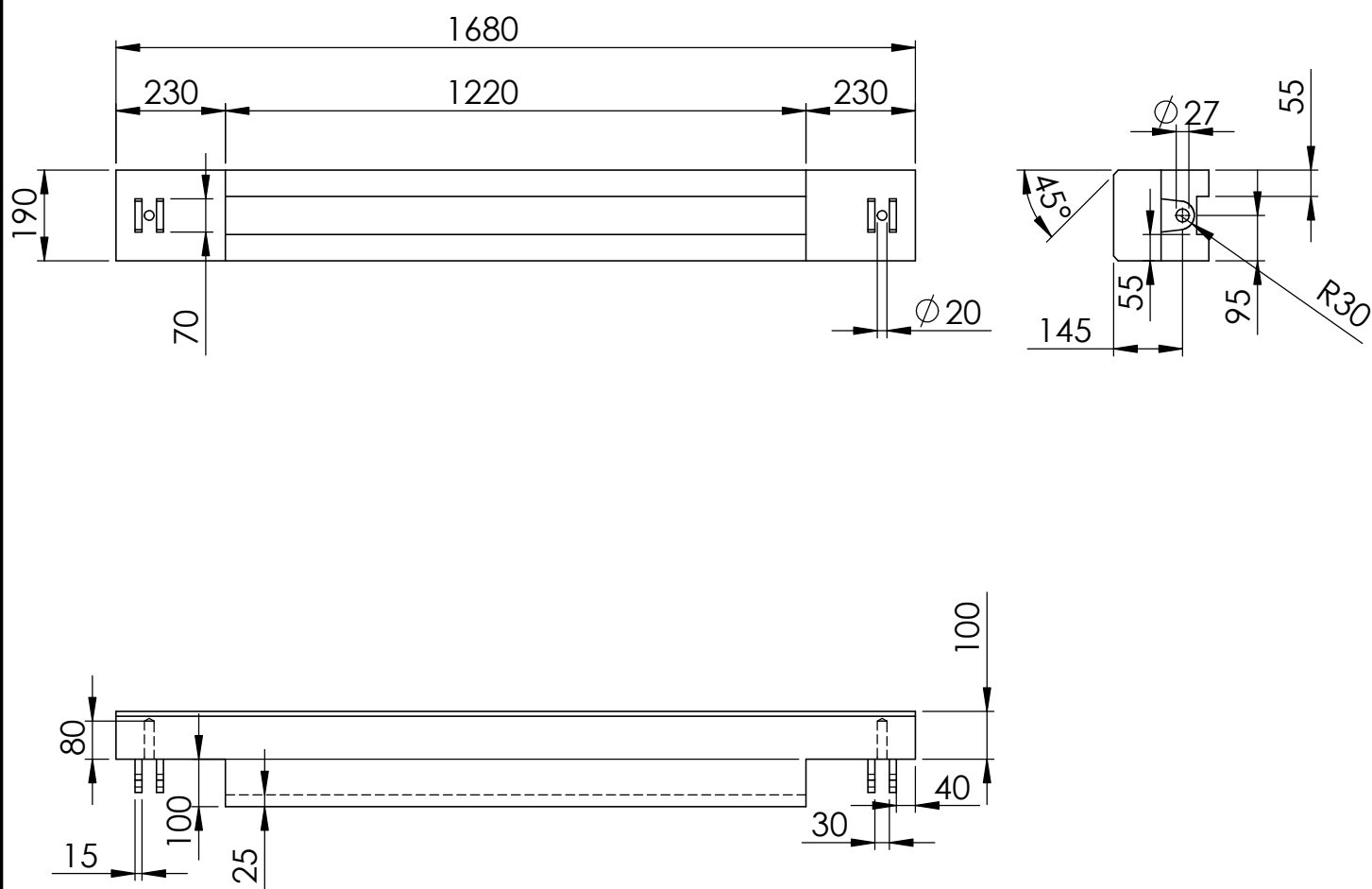
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 48



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Guía placa de reglaje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

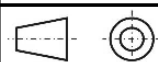
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 256

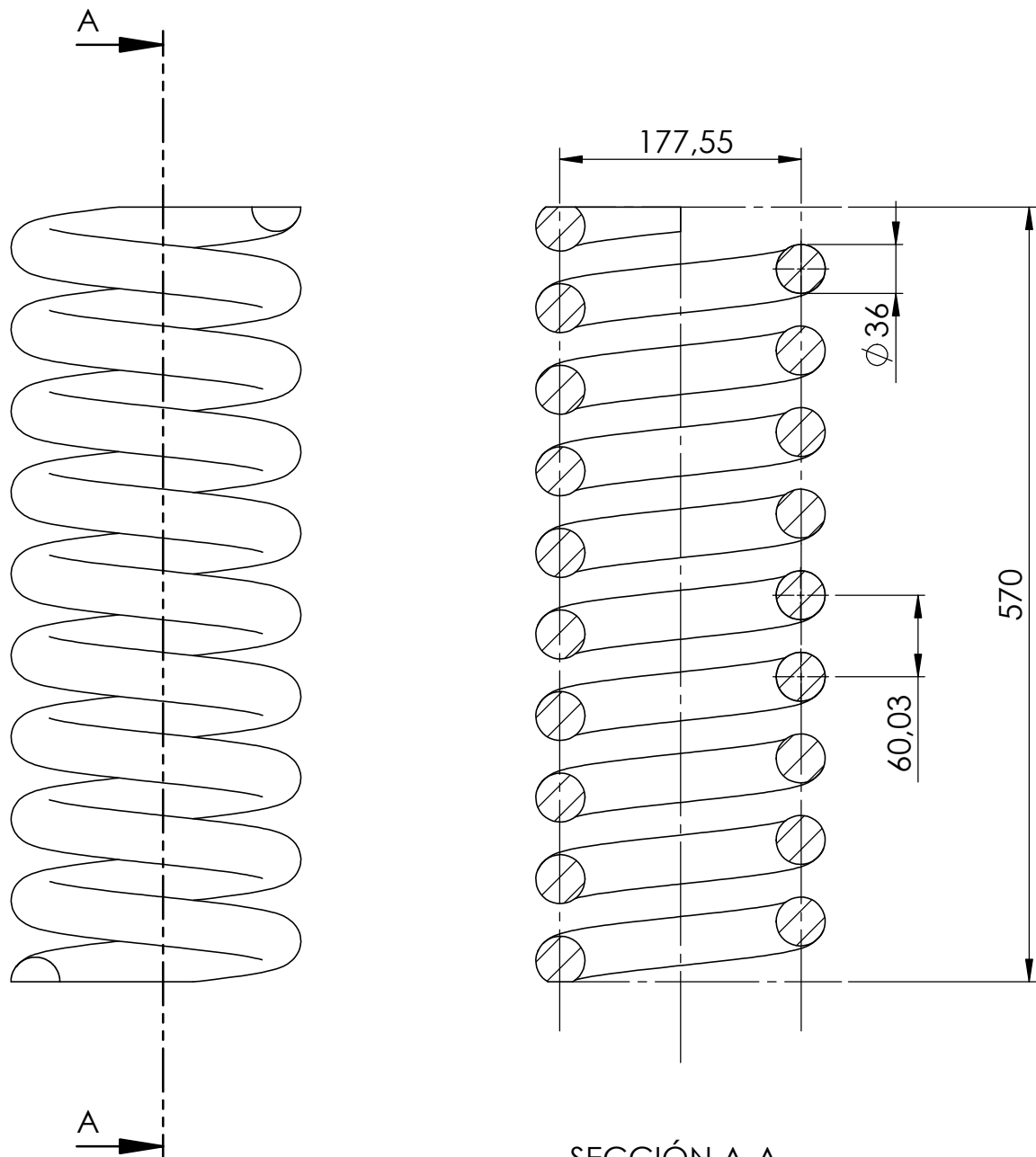
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 49



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

Resorte de compresión	
Nº de espiras útiles	8
Nº de espiras totales	9
Longitud del resorte bajo carga	570
Sentido de la hélice	lza

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Muelle

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

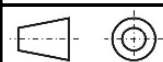
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 257

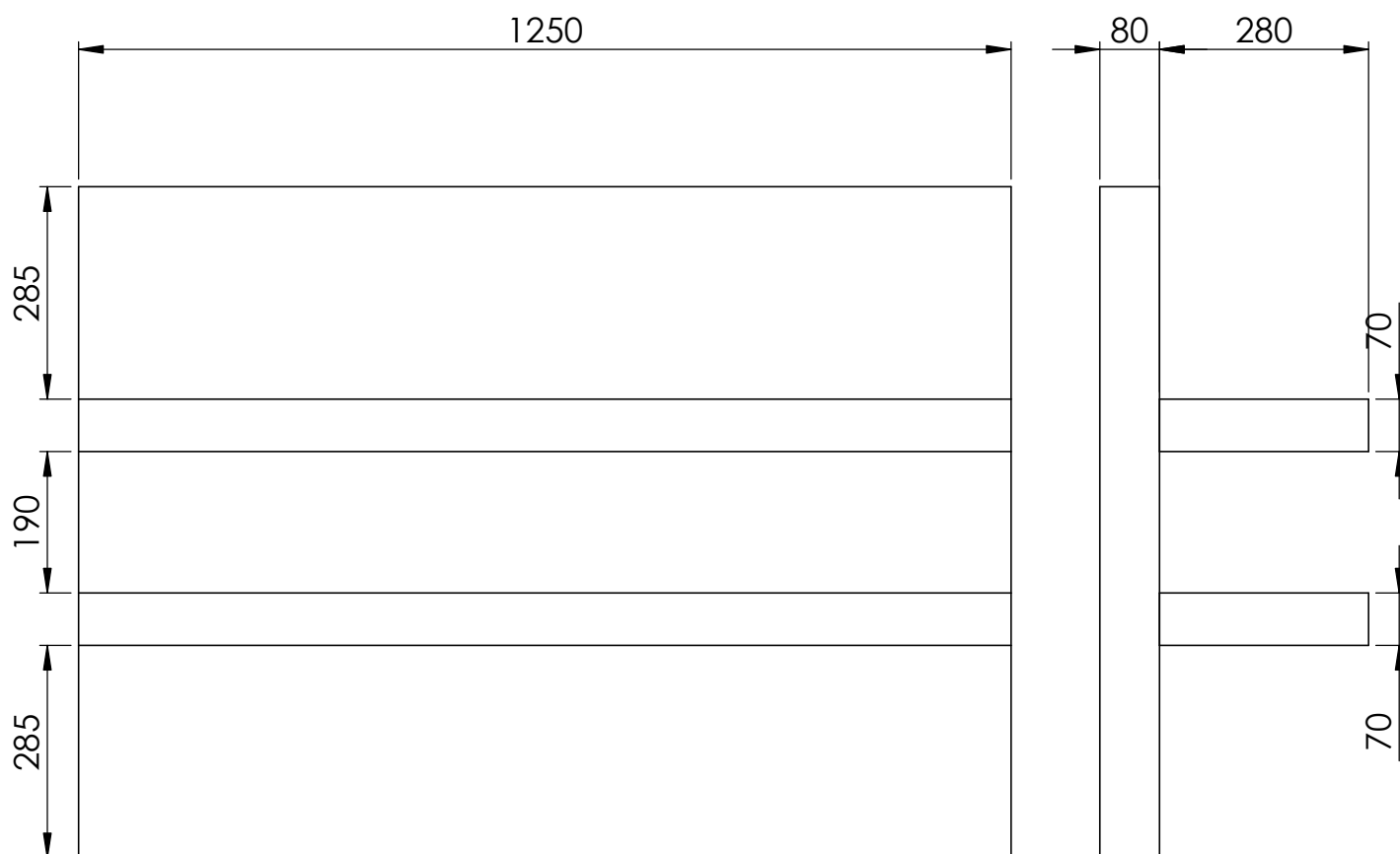
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 50



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Placa base alojamiento guía

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 258

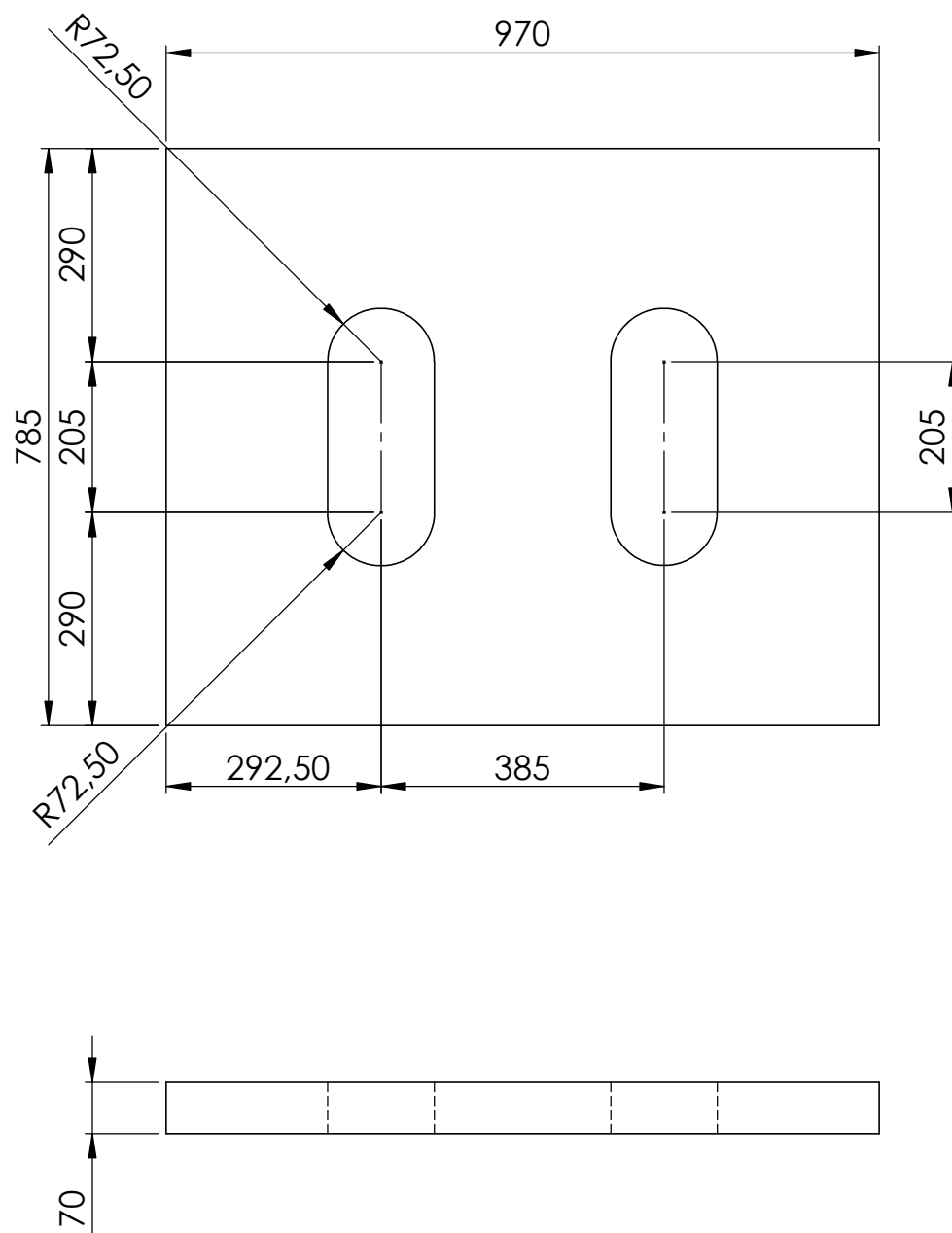
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 51



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Placa de reglaje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 259

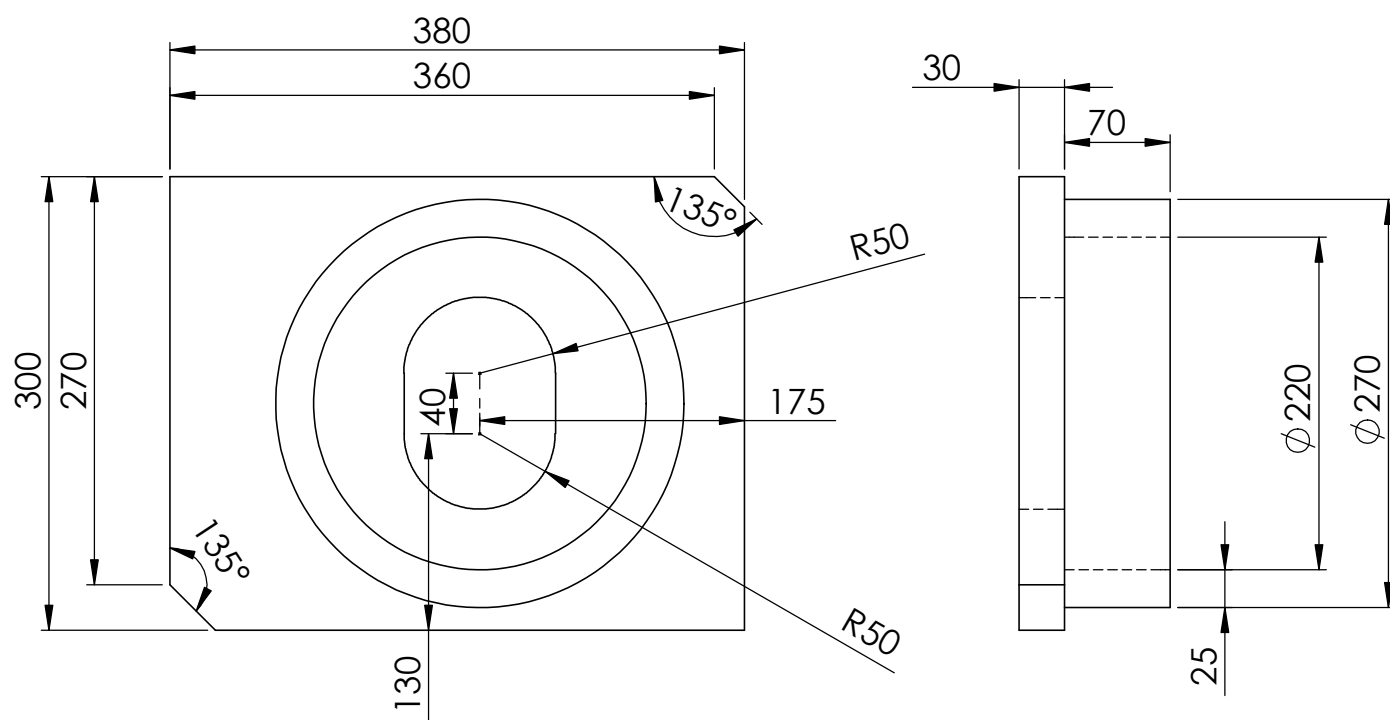
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 52



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte muelle derecho

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 260

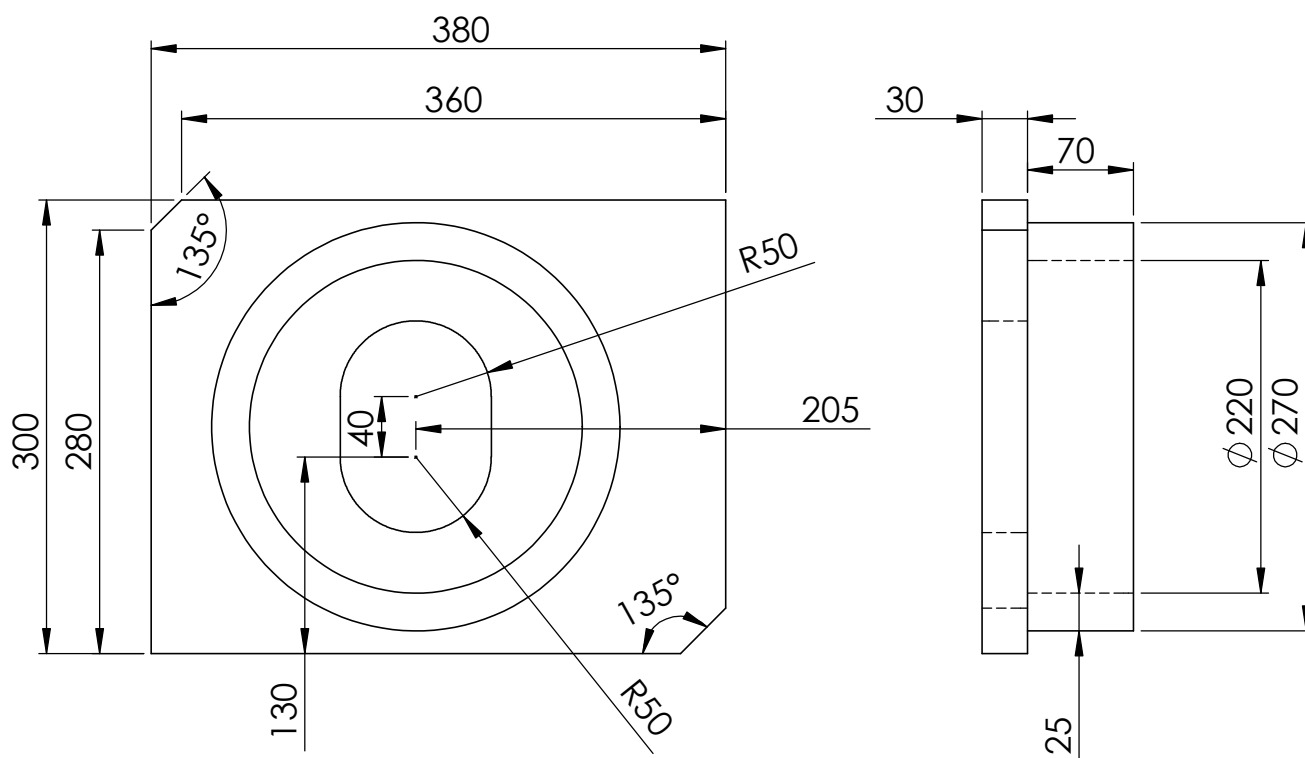
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 53



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte muelle izquierdo

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

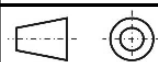
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 261

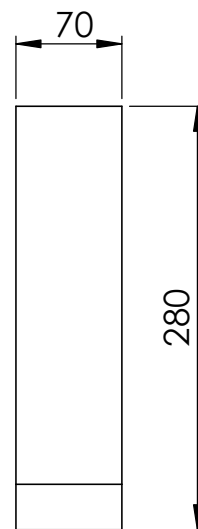
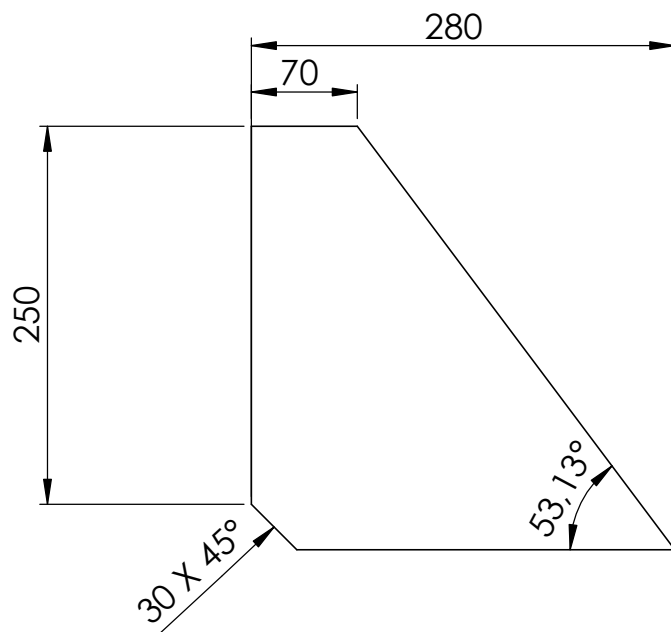
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 54



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte placa base - sistema guía

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 262

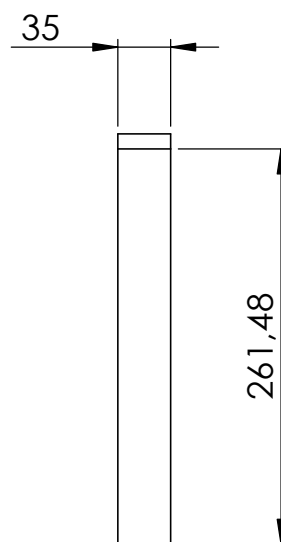
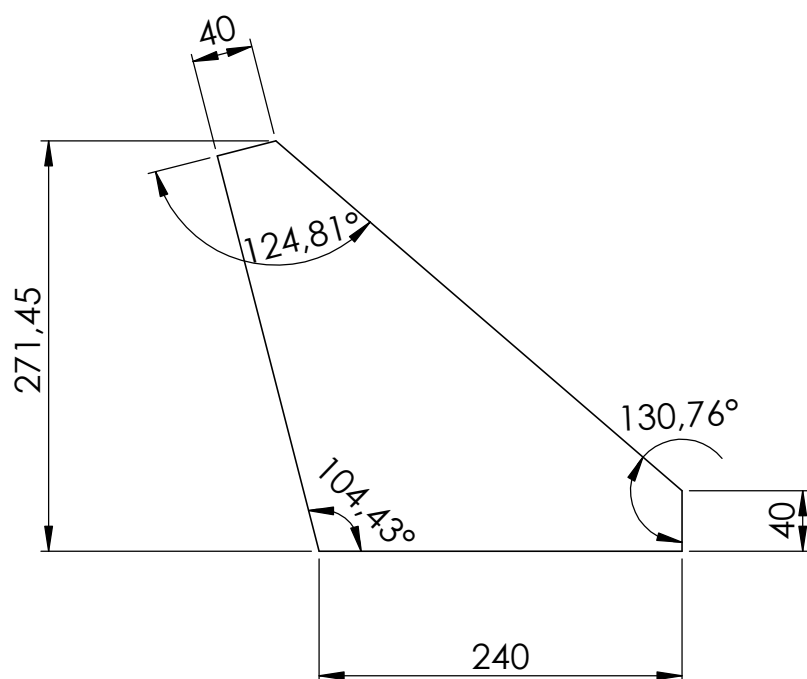
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 55



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte placas muelle

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 263

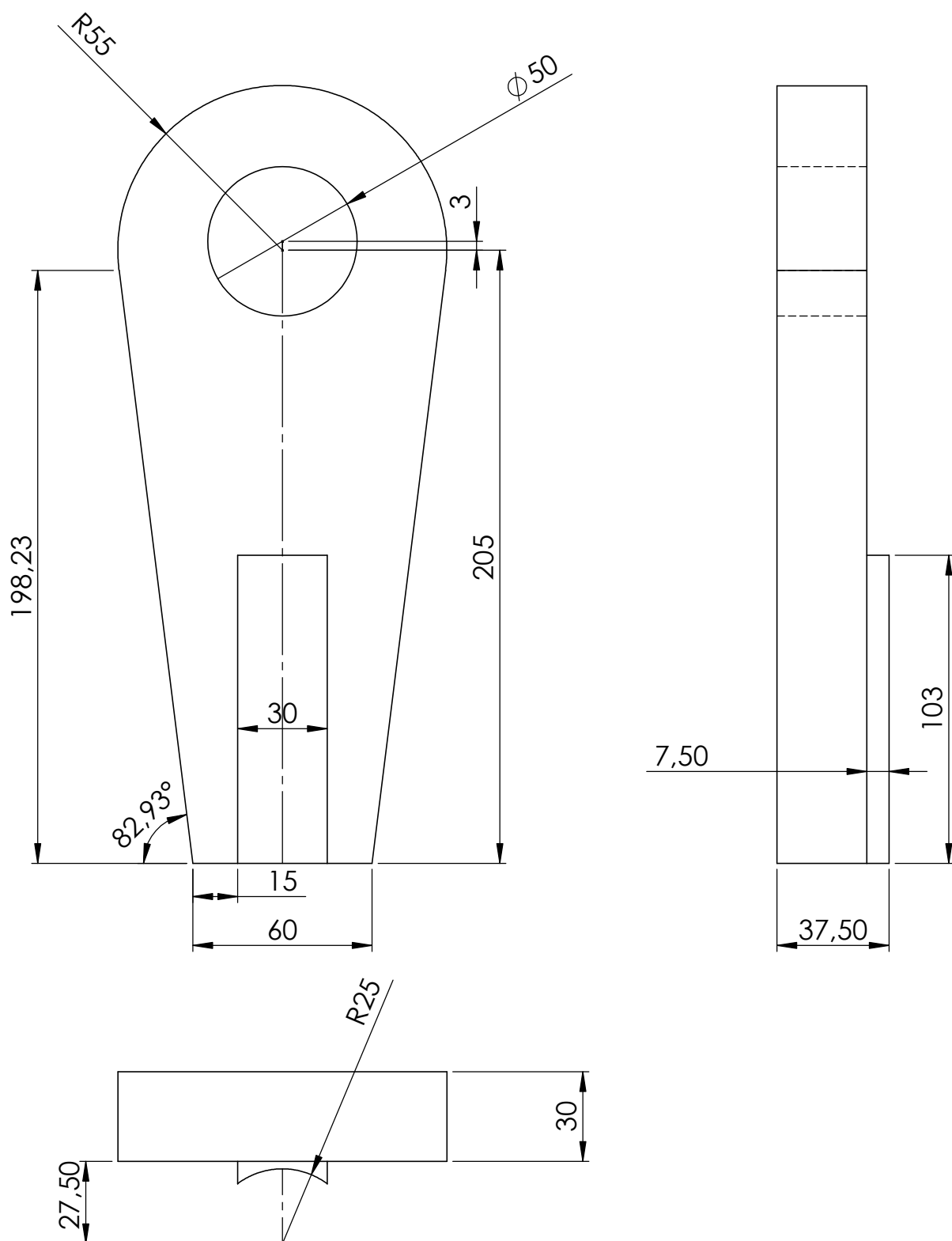
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 56



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte vástago

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

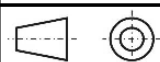
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 264

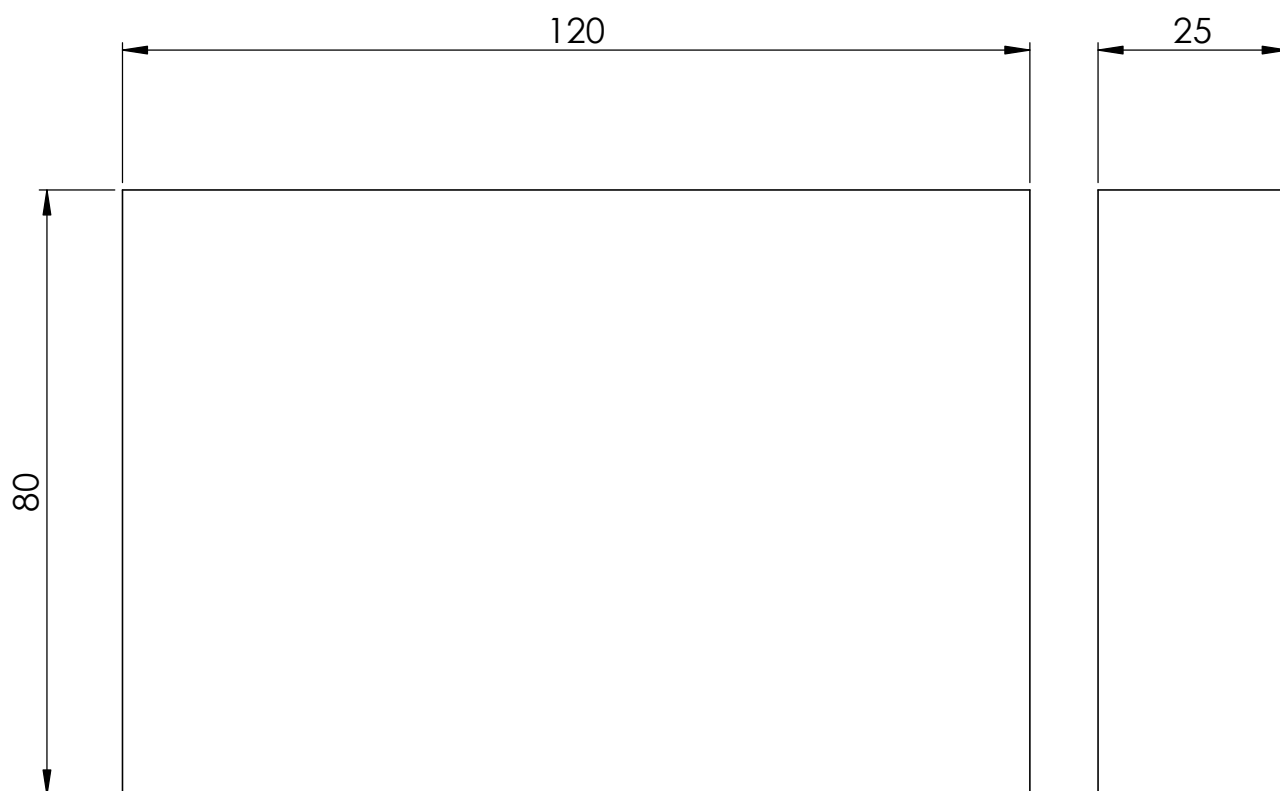
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 57



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Topes guía - placa de reglaje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:1

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 265

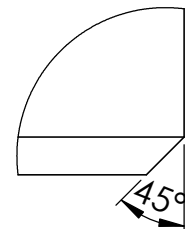
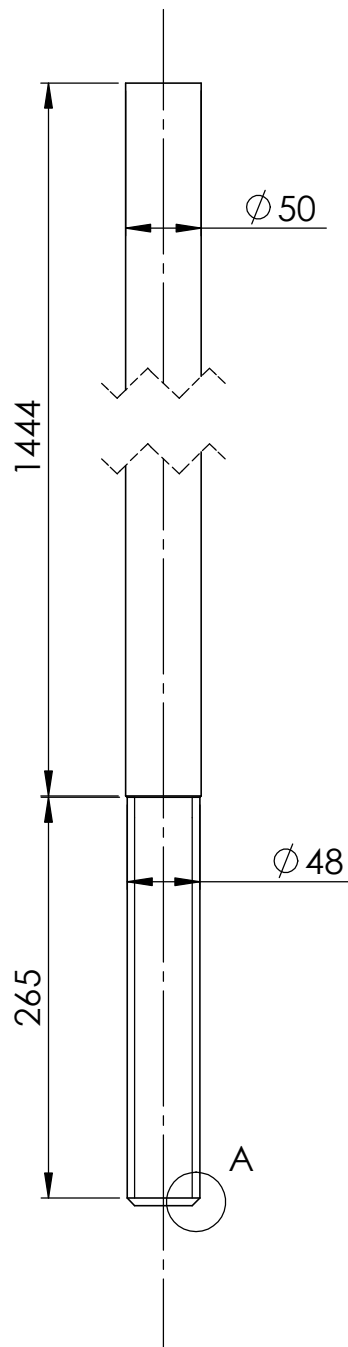
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 58



DETALLE A
ESCALA 1 : 1

M48

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Vastago

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 266

Comprobado

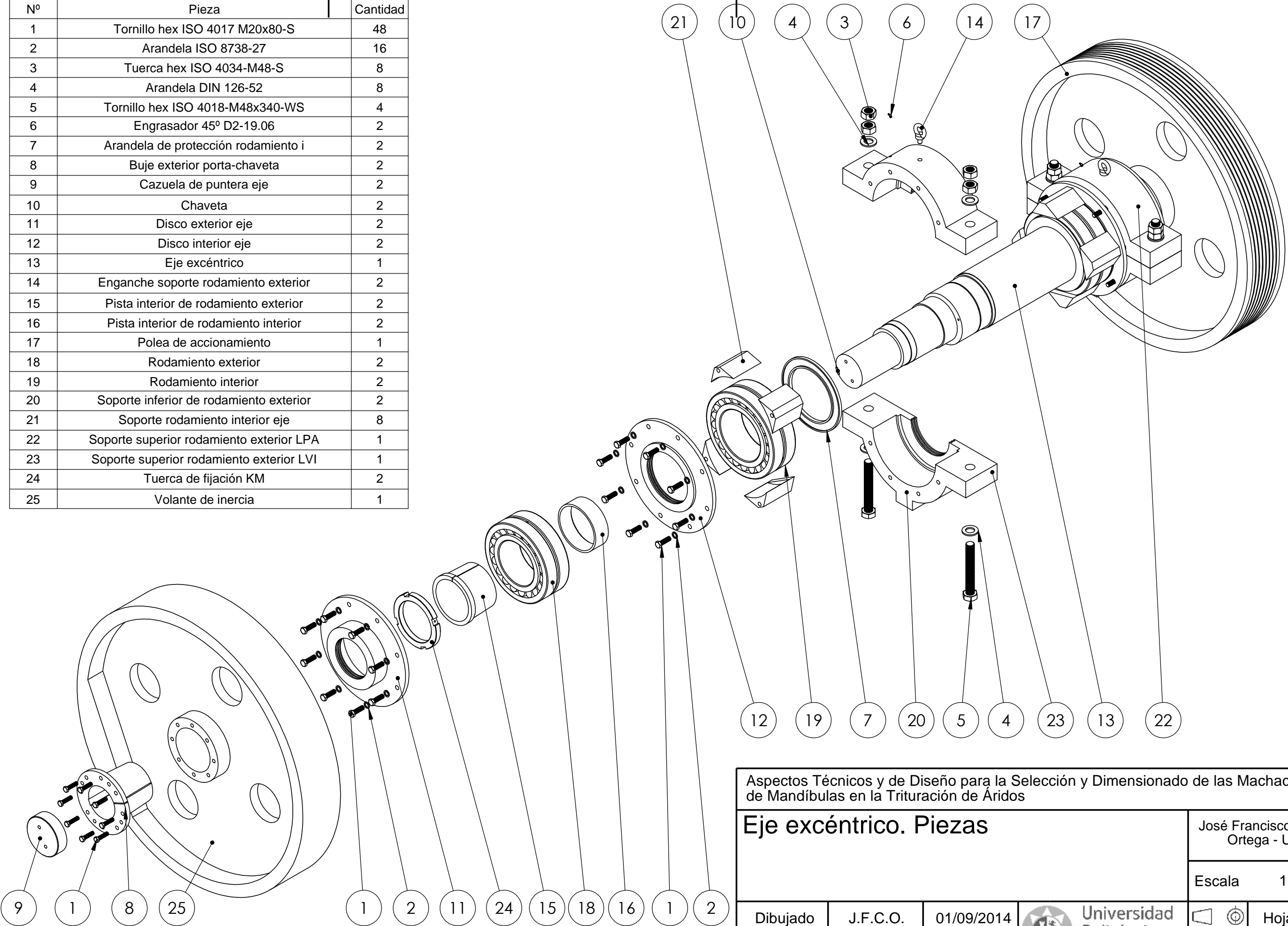
J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 59

Nº	Pieza	Cantidad
1	Tornillo hex ISO 4017 M20x80-S	48
2	Arandela ISO 8738-27	16
3	Tuerca hex ISO 4034-M48-S	8
4	Arandela DIN 126-52	8
5	Tornillo hex ISO 4018-M48x340-WS	4
6	Engrasador 45º D2-19.06	2
7	Arandela de protección rodamiento i	2
8	Buje exterior porta-chaveta	2
9	Cazuela de puntera eje	2
10	Chaveta	2
11	Disco exterior eje	2
12	Disco interior eje	2
13	Eje excéntrico	1
14	Enganche soporte rodamiento exterior	2
15	Pista interior de rodamiento exterior	2
16	Pista interior de rodamiento interior	2
17	Polea de accionamiento	1
18	Rodamiento exterior	2
19	Rodamiento interior	2
20	Soporte inferior de rodamiento exterior	2
21	Soporte rodamiento interior eje	8
22	Soporte superior rodamiento exterior LPA	1
23	Soporte superior rodamiento exterior LVI	1
24	Tuerca de fijación KM	2
25	Volante de inercia	1



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Eje excéntrico. Piezas

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014



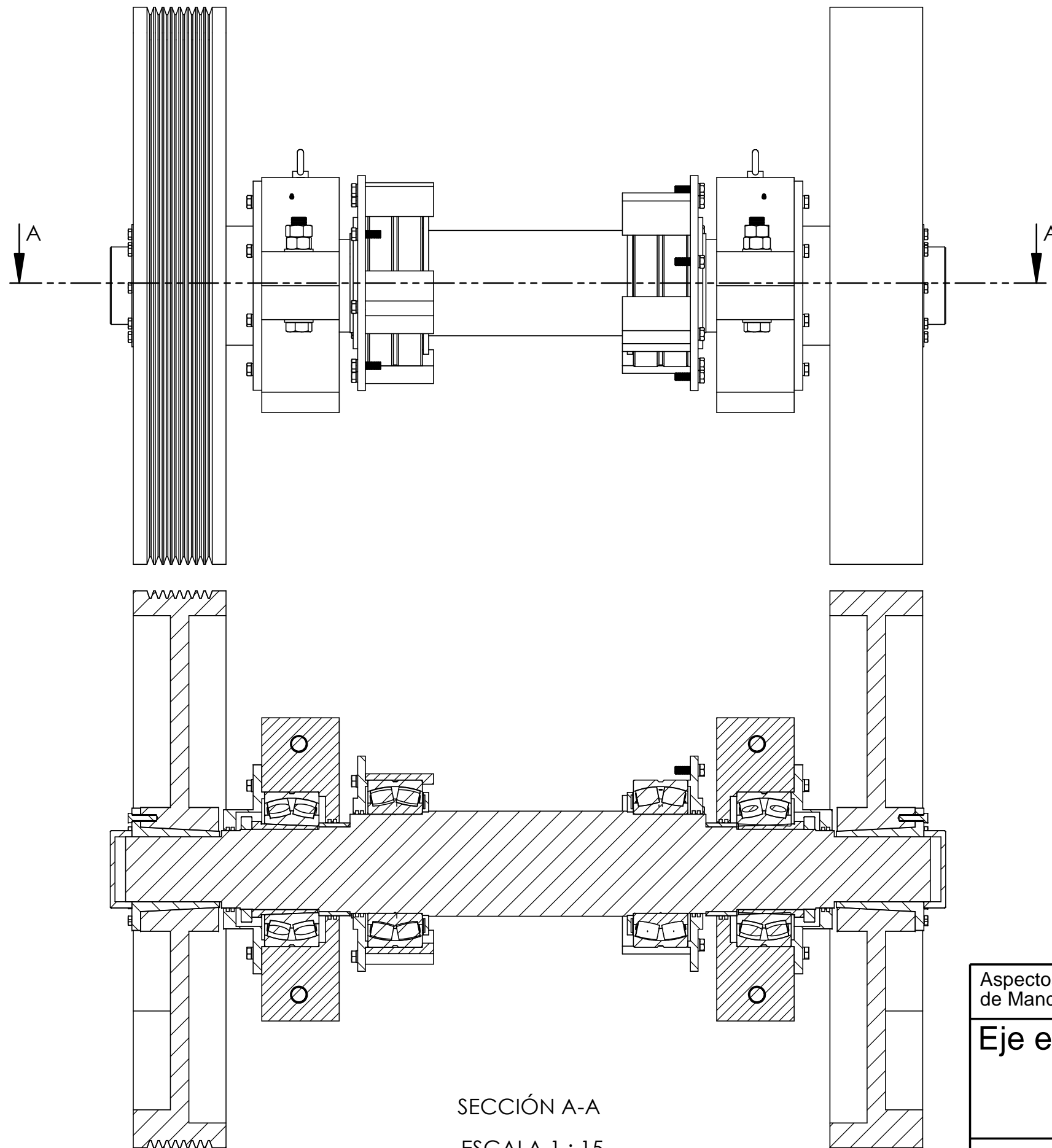
Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 267

A3

Plano Nº 60



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 15

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Eje excéntrico

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:15

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

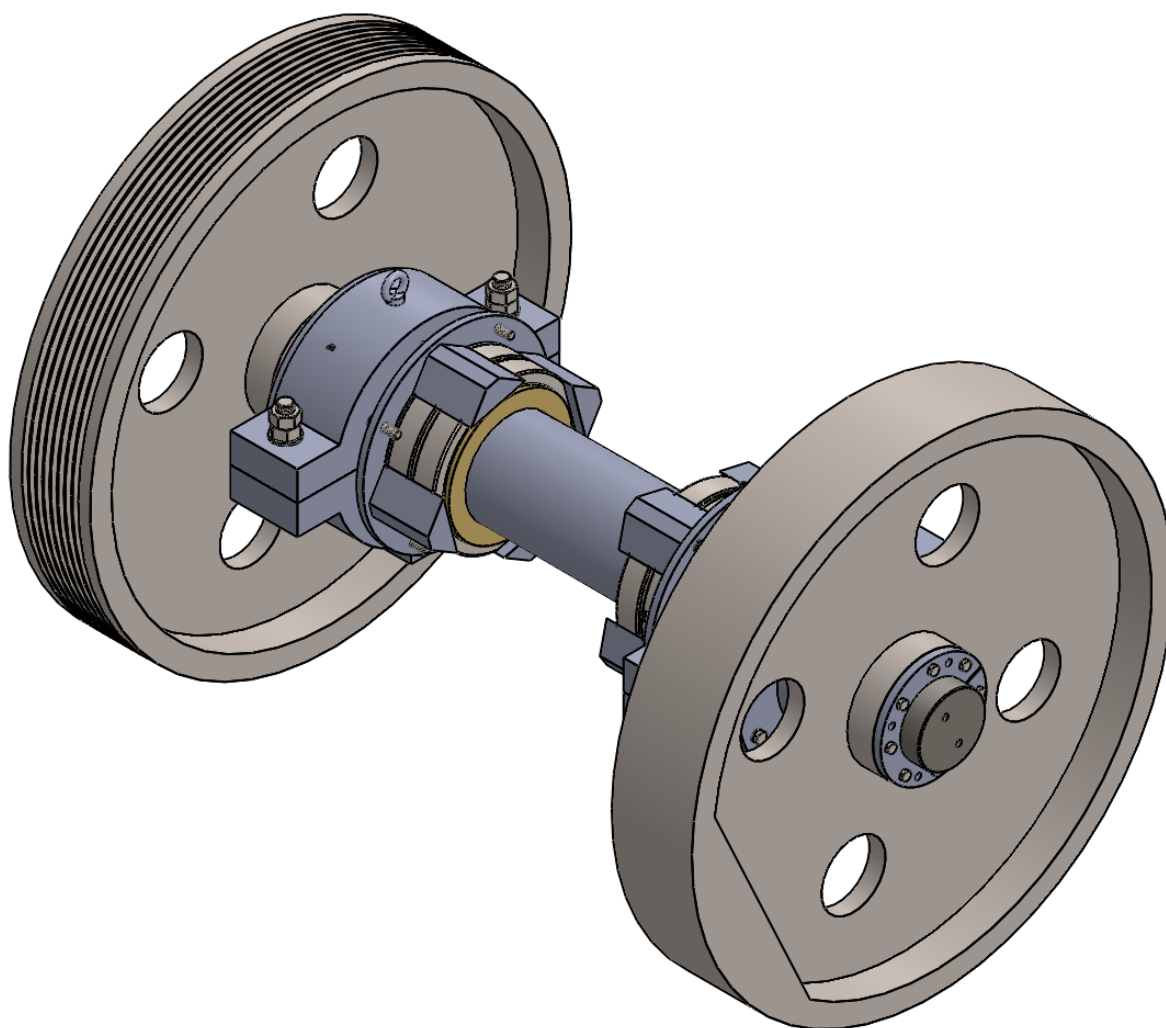
Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Hoja N° 268

A3 Plano N° 61



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Eje excéntrico. 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 269

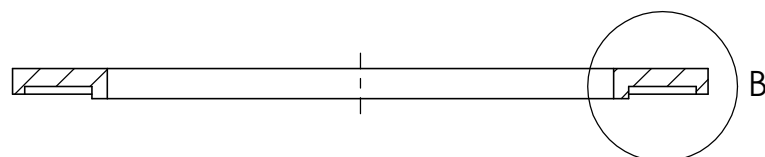
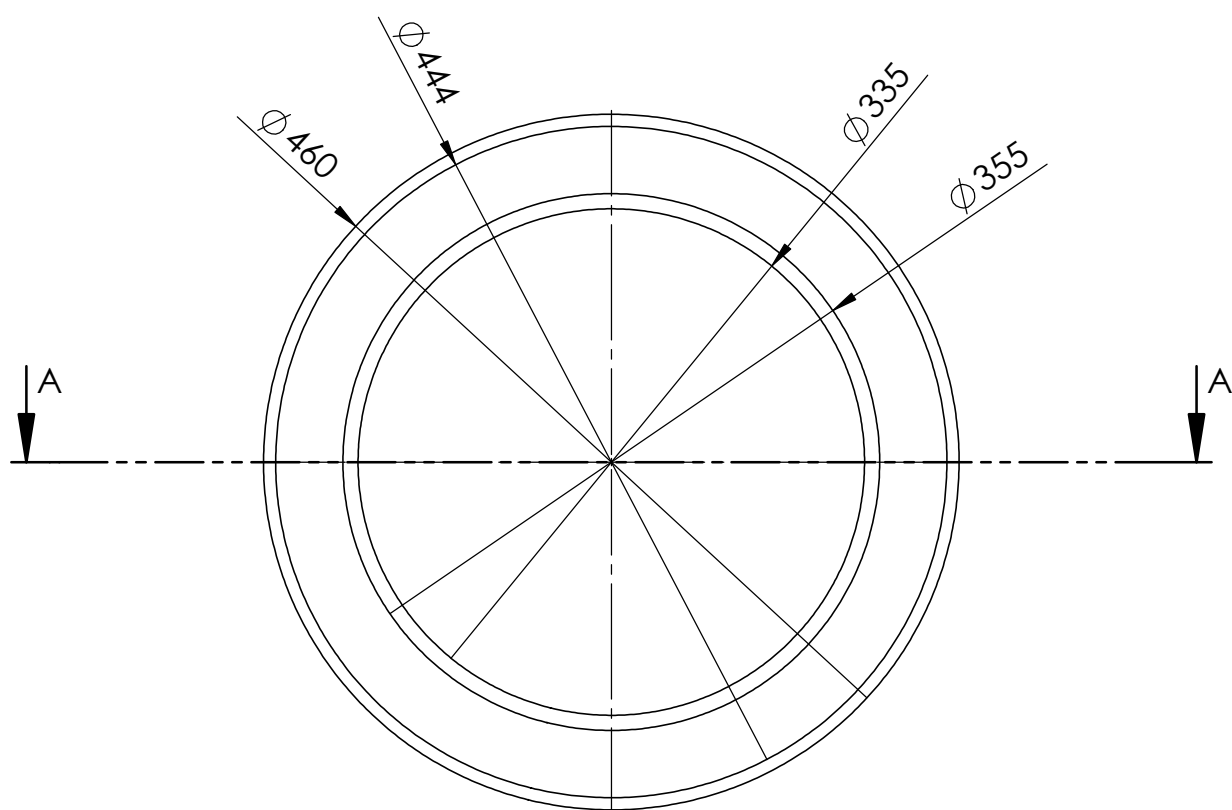
Comprobado

J.F.C.O.

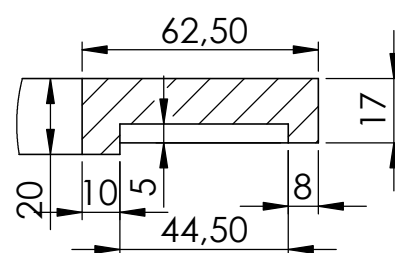
01/09/2014

A4

Plano N° 62



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5



DETALLE B
ESCALA 1 : 2

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Arandela protección rodamiento II

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

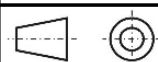
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 270

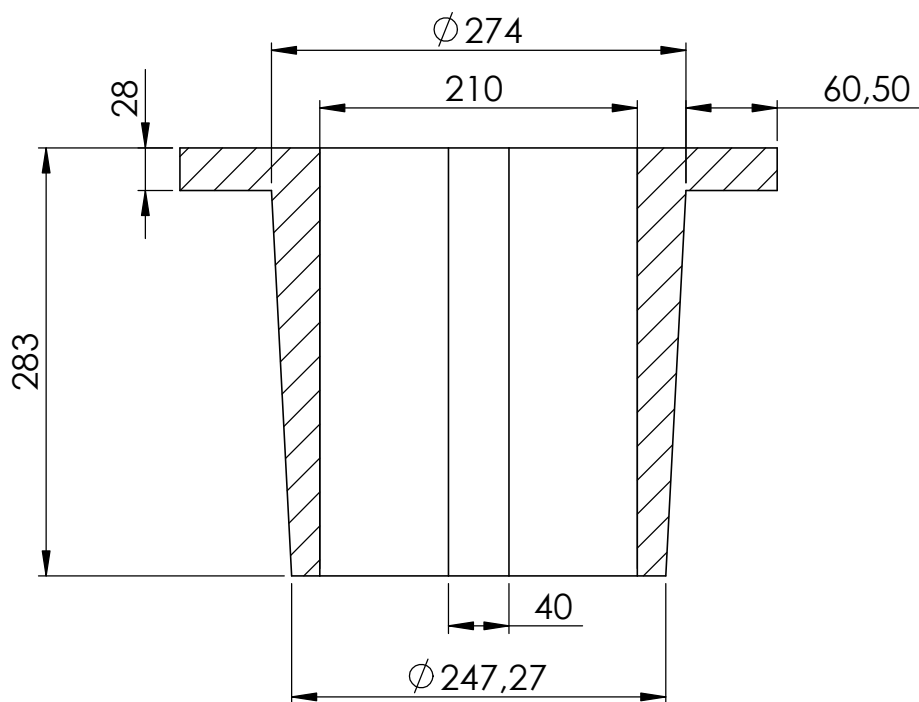
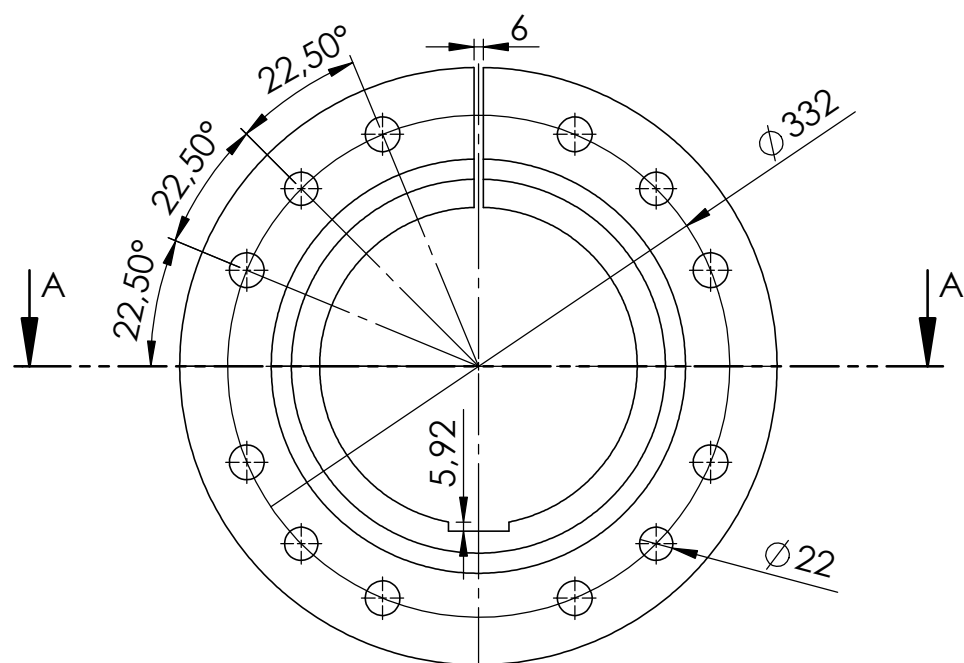
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 63



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Buje exterior porta - chaveta

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

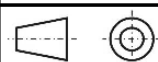
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 271

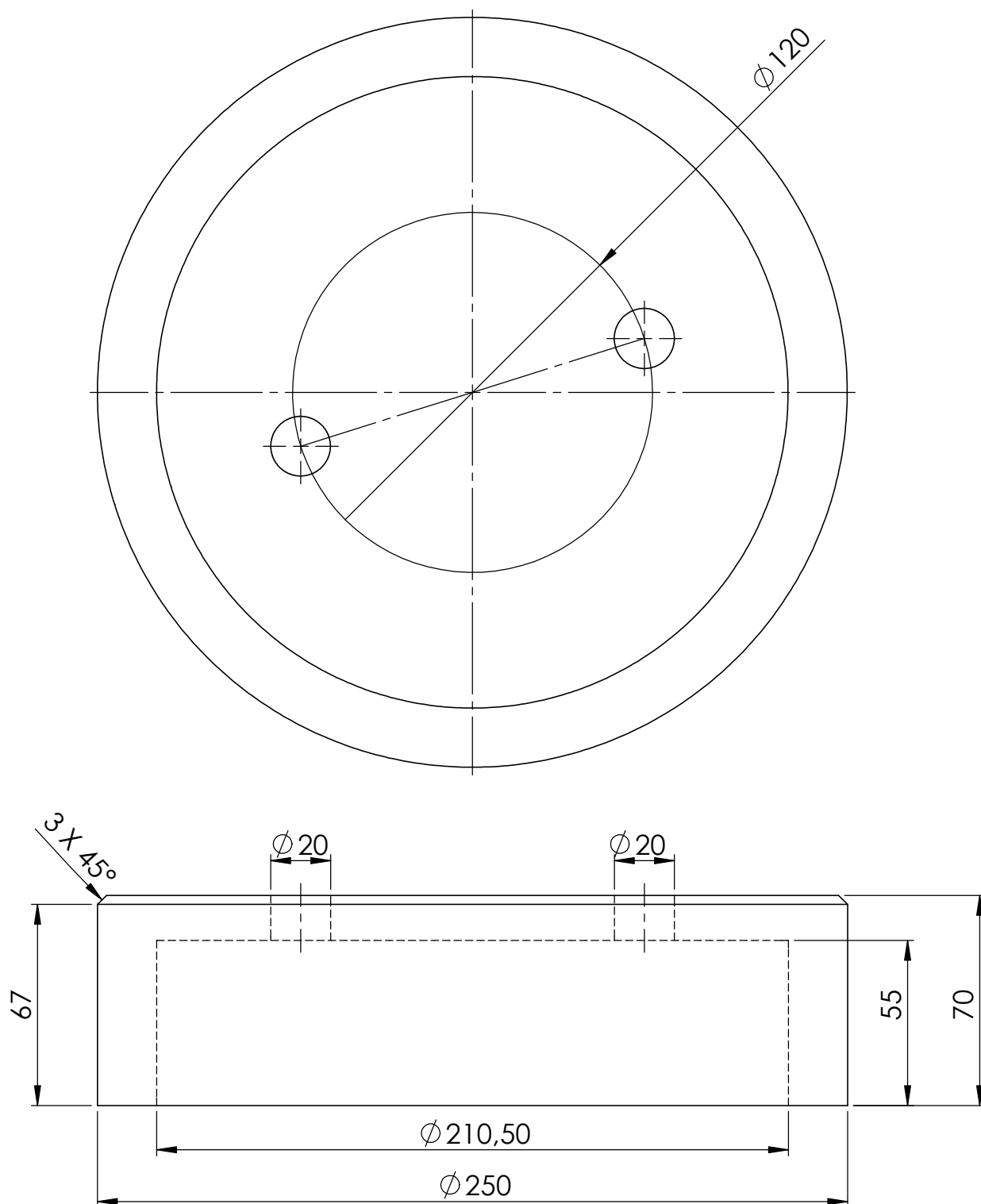
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 64



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Cazuela de puntera eje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 272

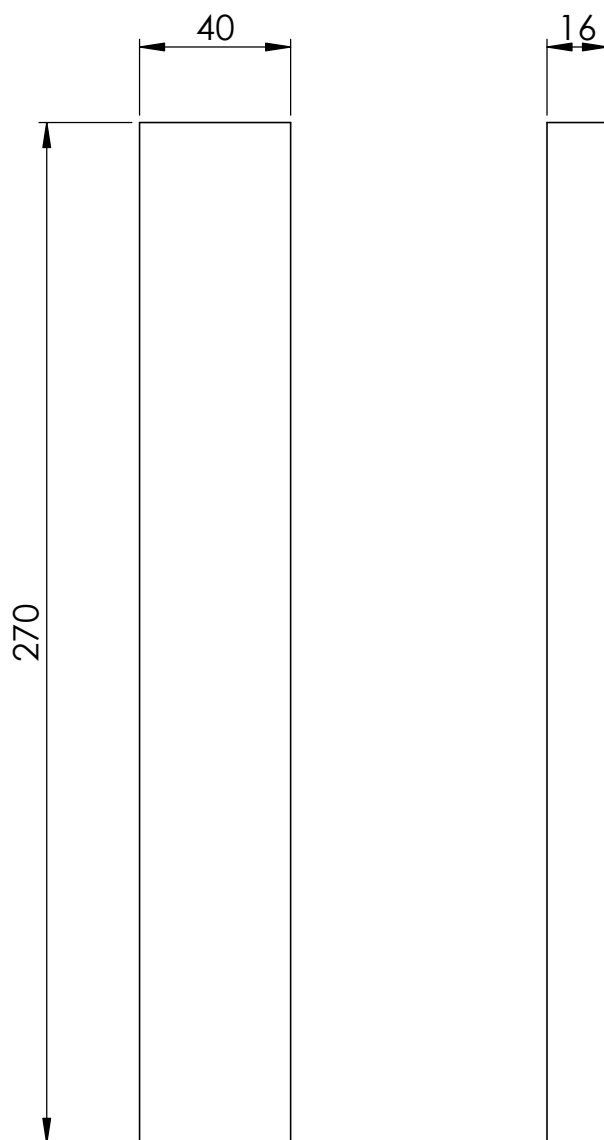
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 65



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chaveta

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

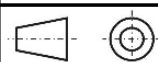
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 273

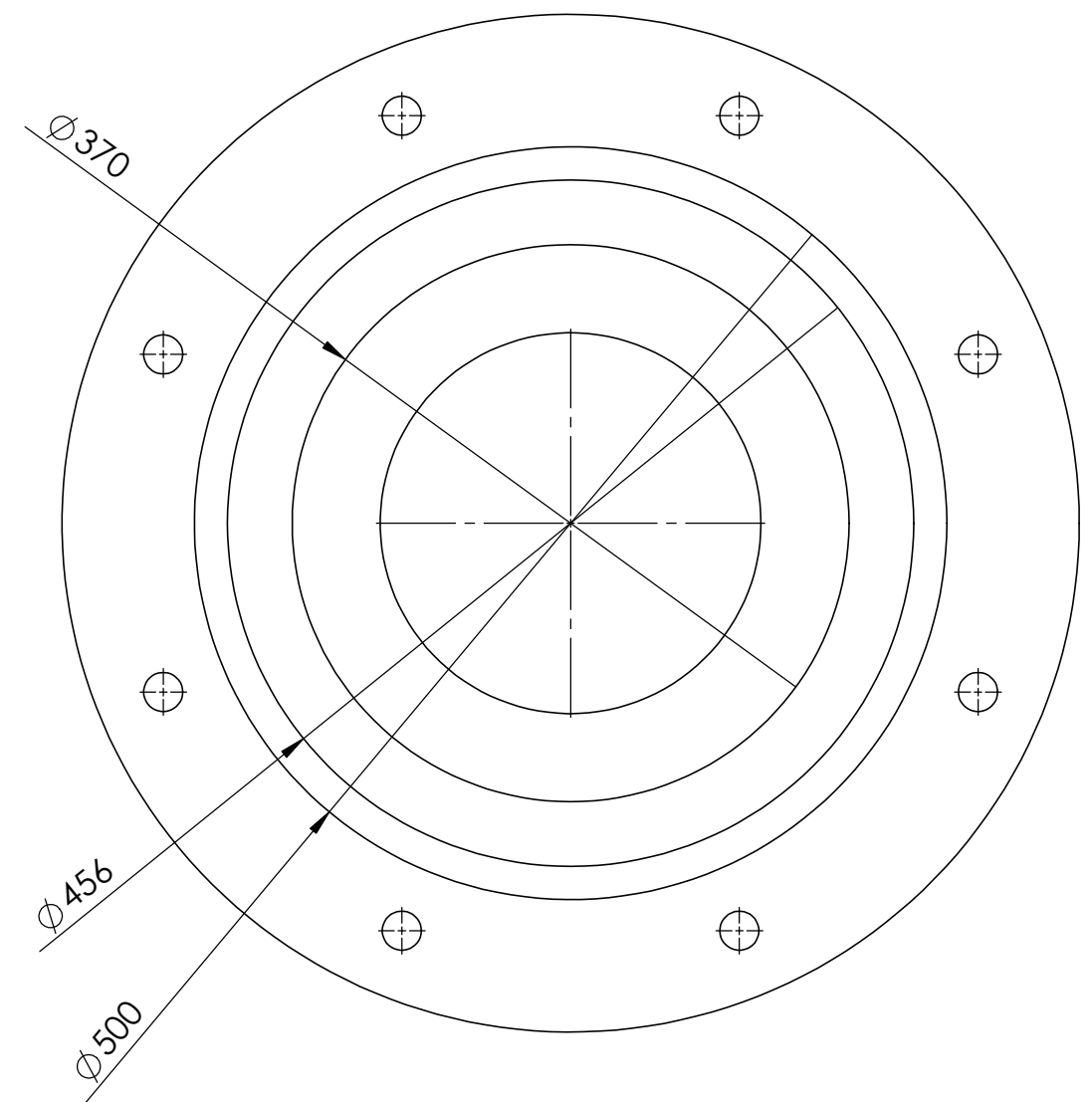
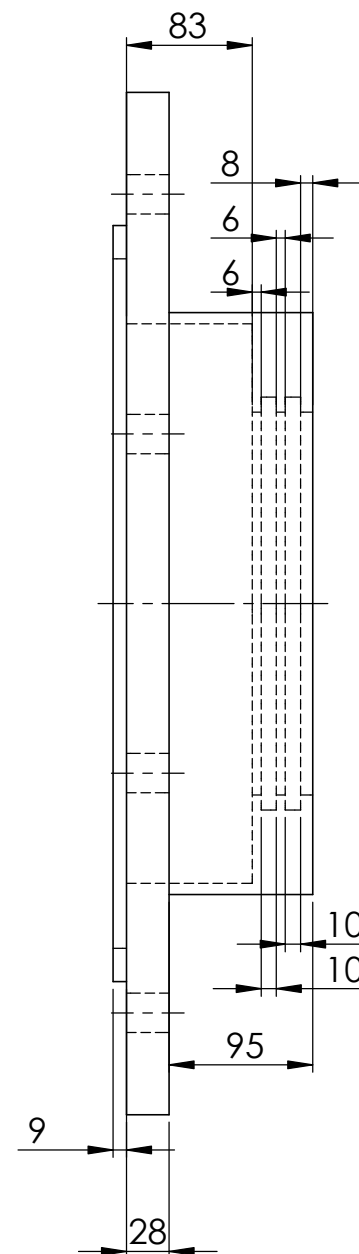
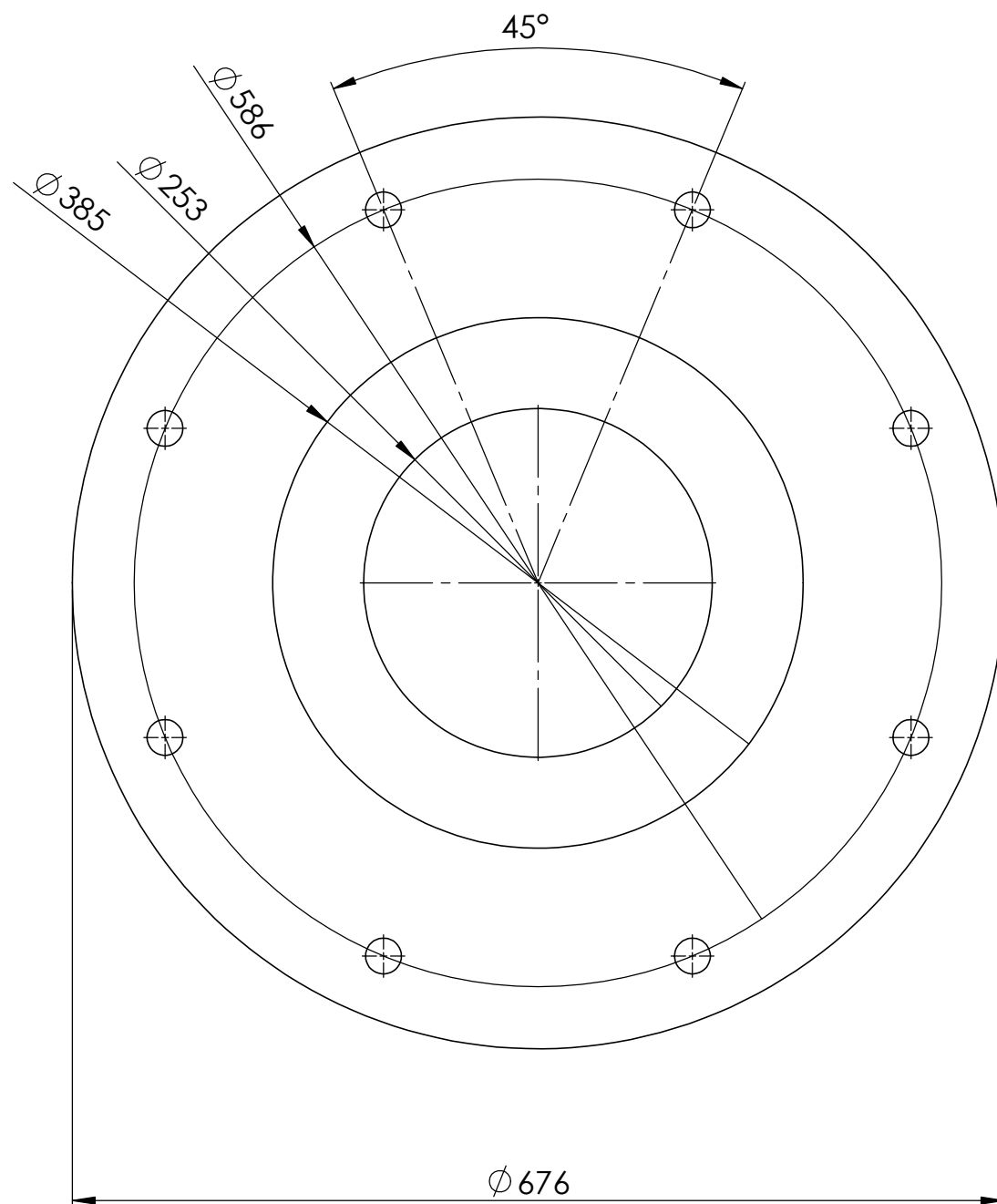
Comprobado

J.F.C.O.


01/09/2014

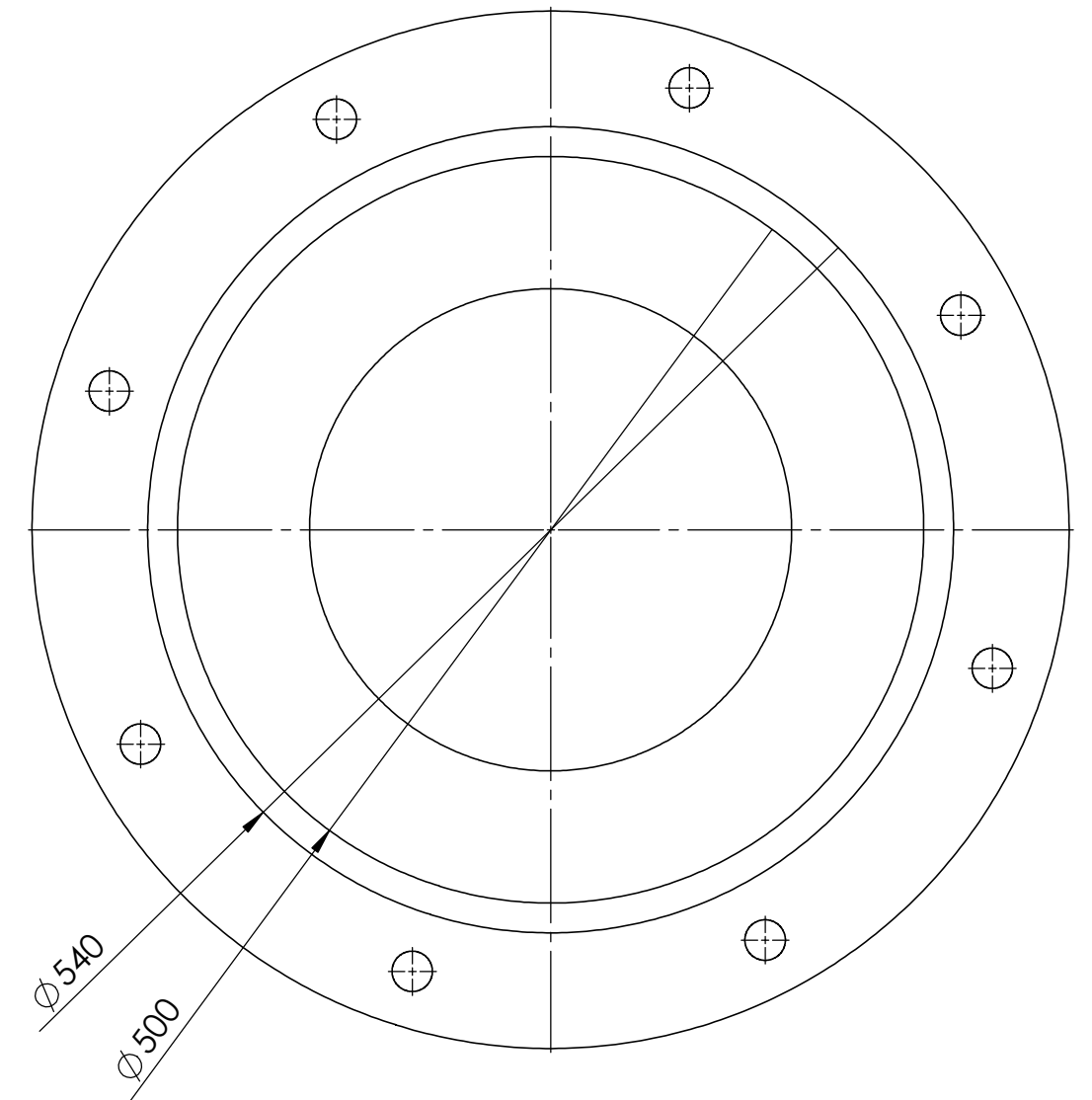
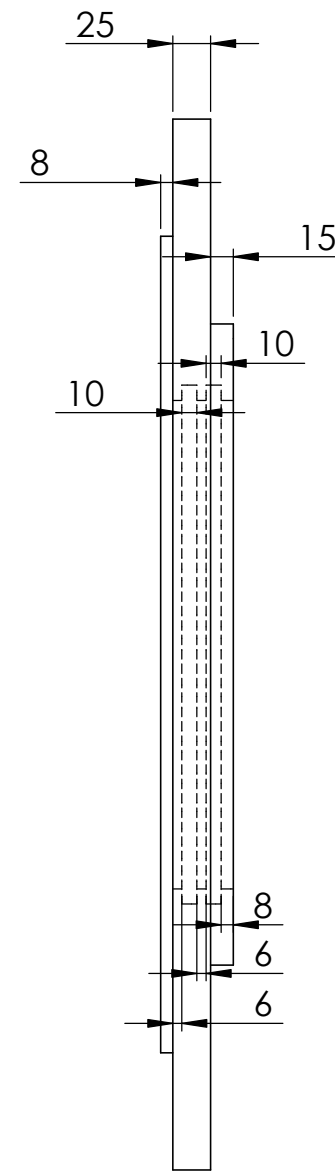
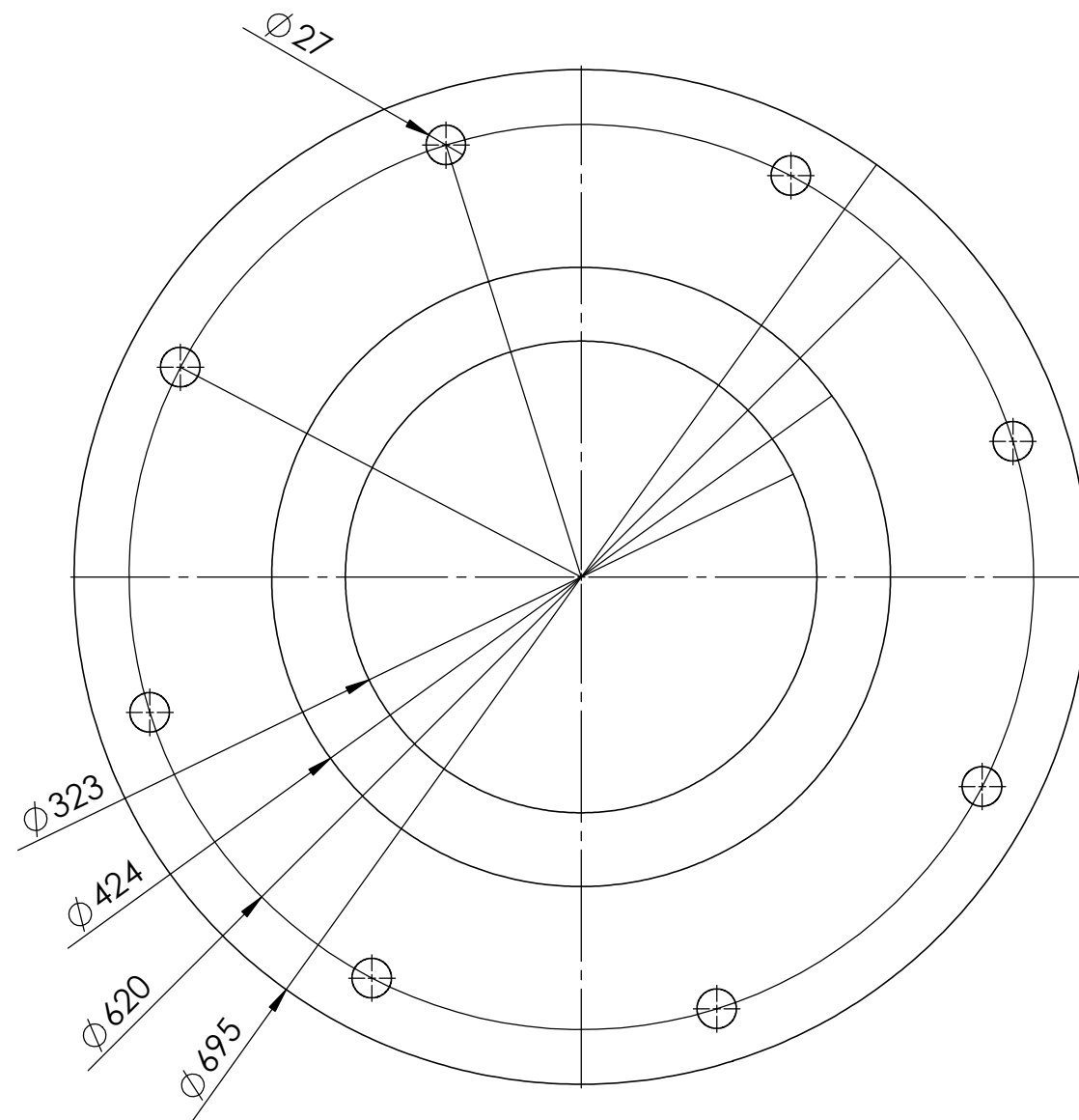
A4

Plano N° 66


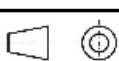


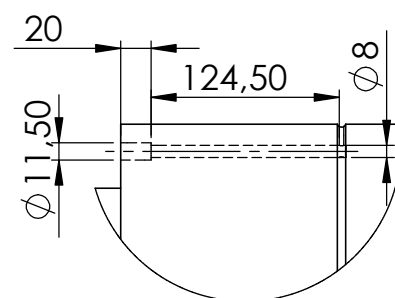
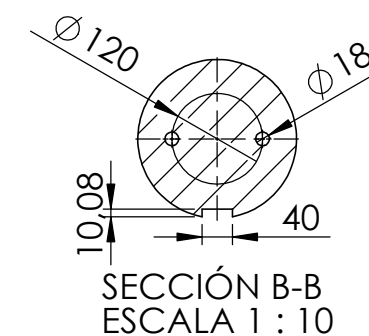
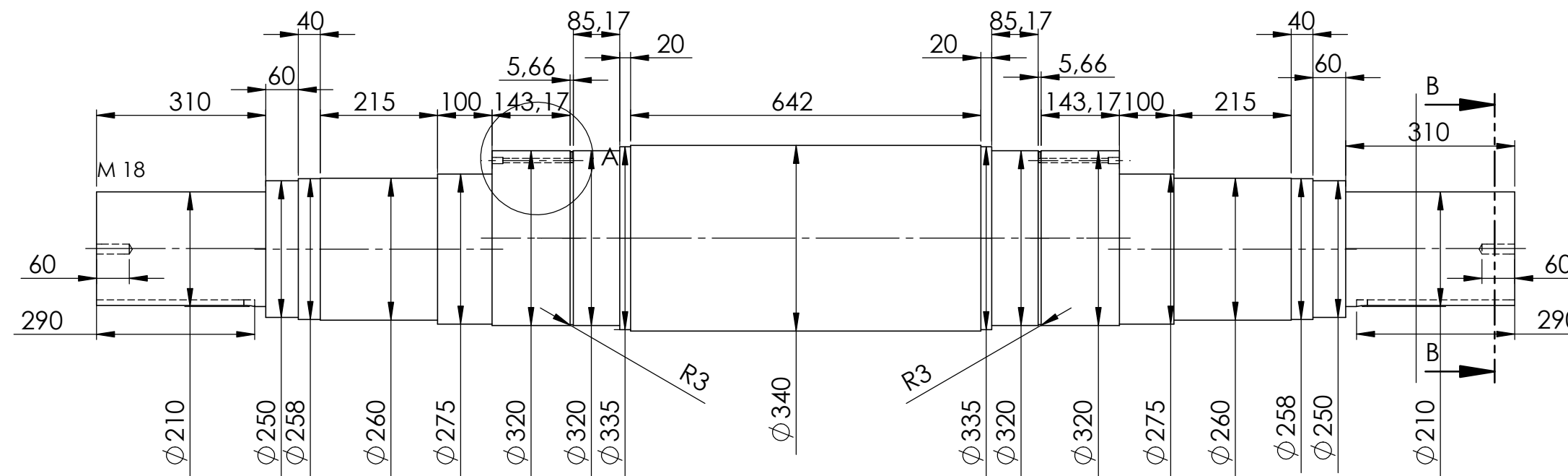
Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Disco exterior eje				José Francisco Carpena Ortega - UPCT	
				Escala	1:5
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena		Hoja N° 274
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3	Plano N° 67



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Disco interior eje				José Francisco Carpena Ortega - UPCT	
				Escala 1:5	
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena		Hoja Nº 275
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3	Plano Nº 68



DETALLE A
ESCALA 1 : 5

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Eje excéntrico

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

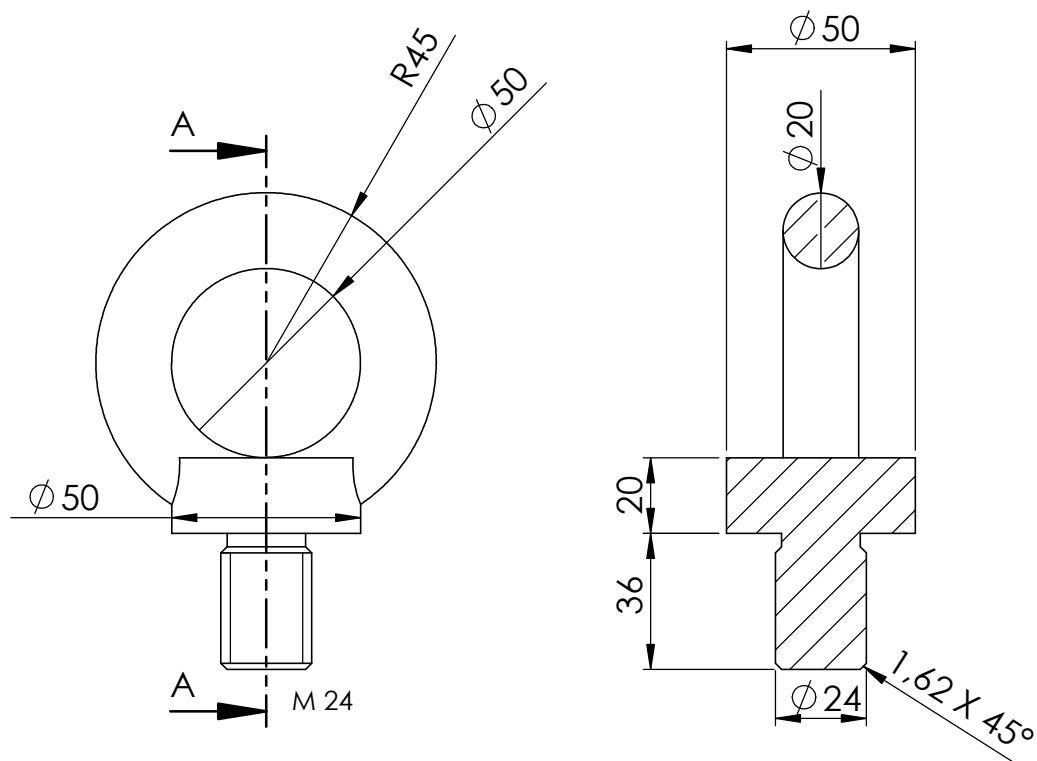
Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena

Hoja N° 276

A3 Plano N° 69



SECCIÓN A-A

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Enganche soporte rodamiento exterior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

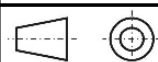
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 277

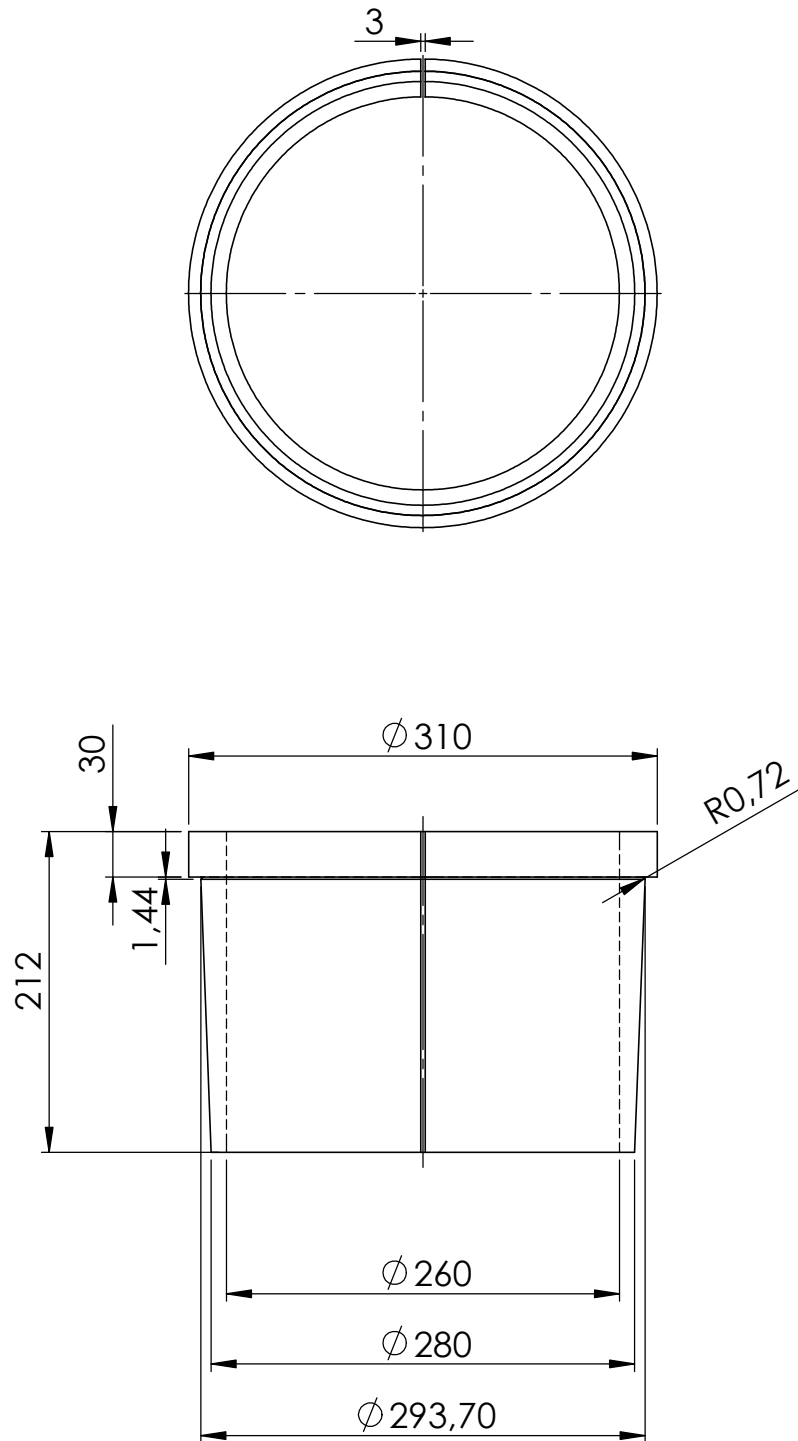
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 70



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Pista interior de rodamiento exterior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 278

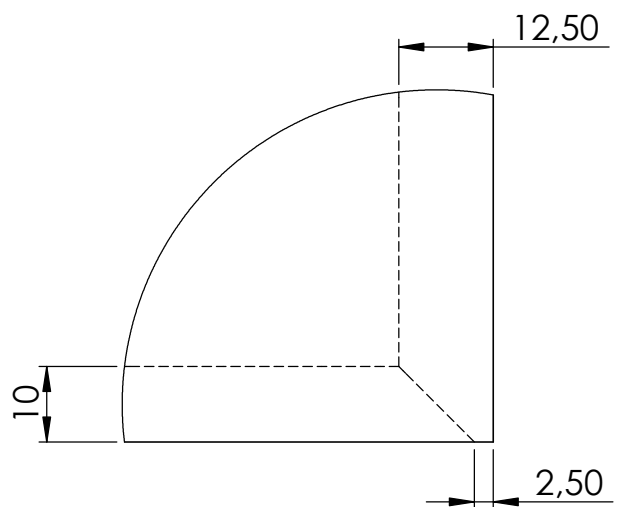
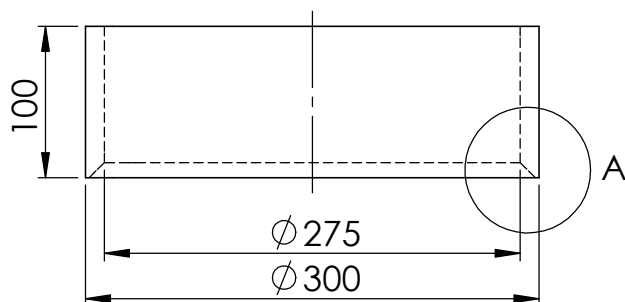
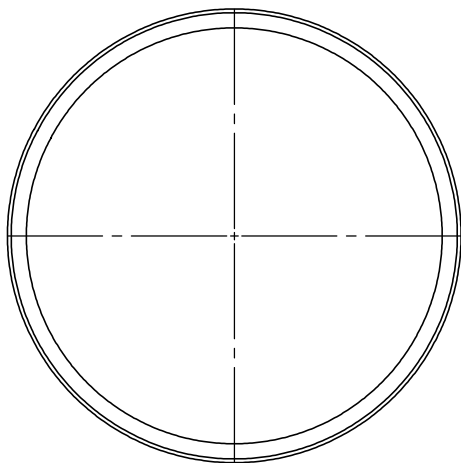
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 71



DETALLE A
ESCALA 1 : 1

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Pista interior de rodamiento interior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

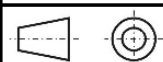
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 279

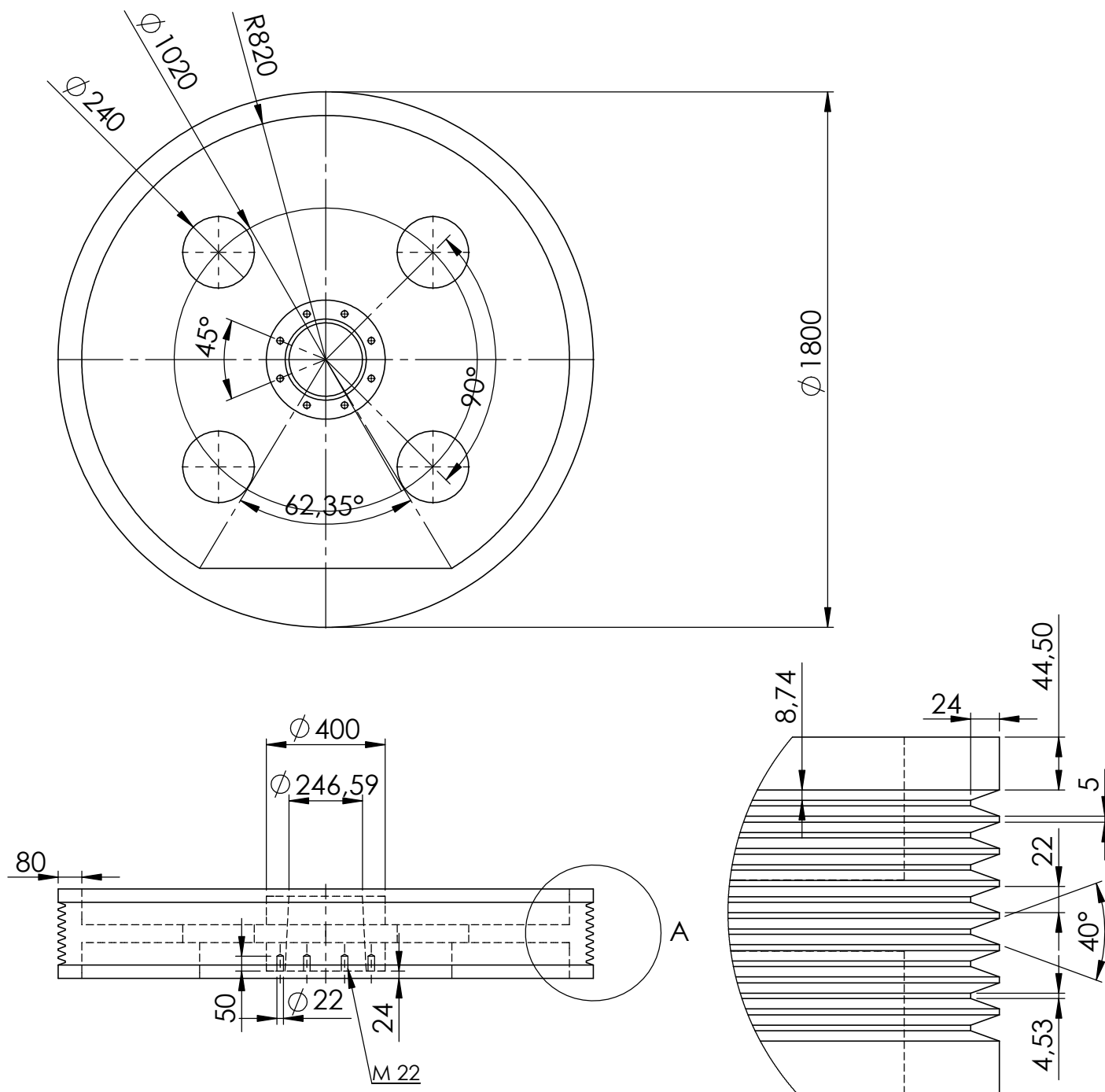
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 72



DETALLE A
ESCALA 1 : 5

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Polea de accionamiento

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014

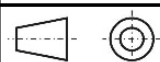
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014



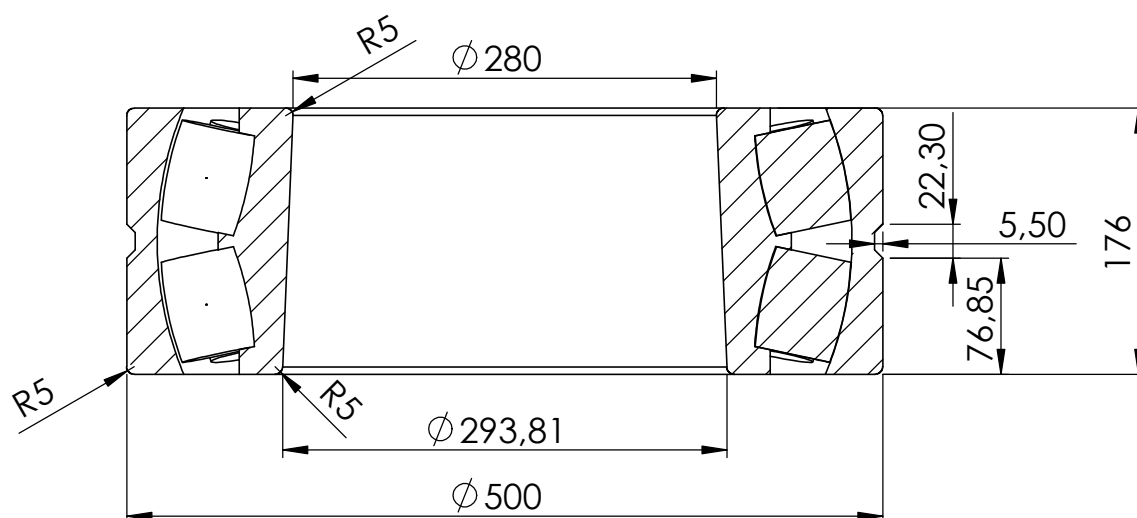
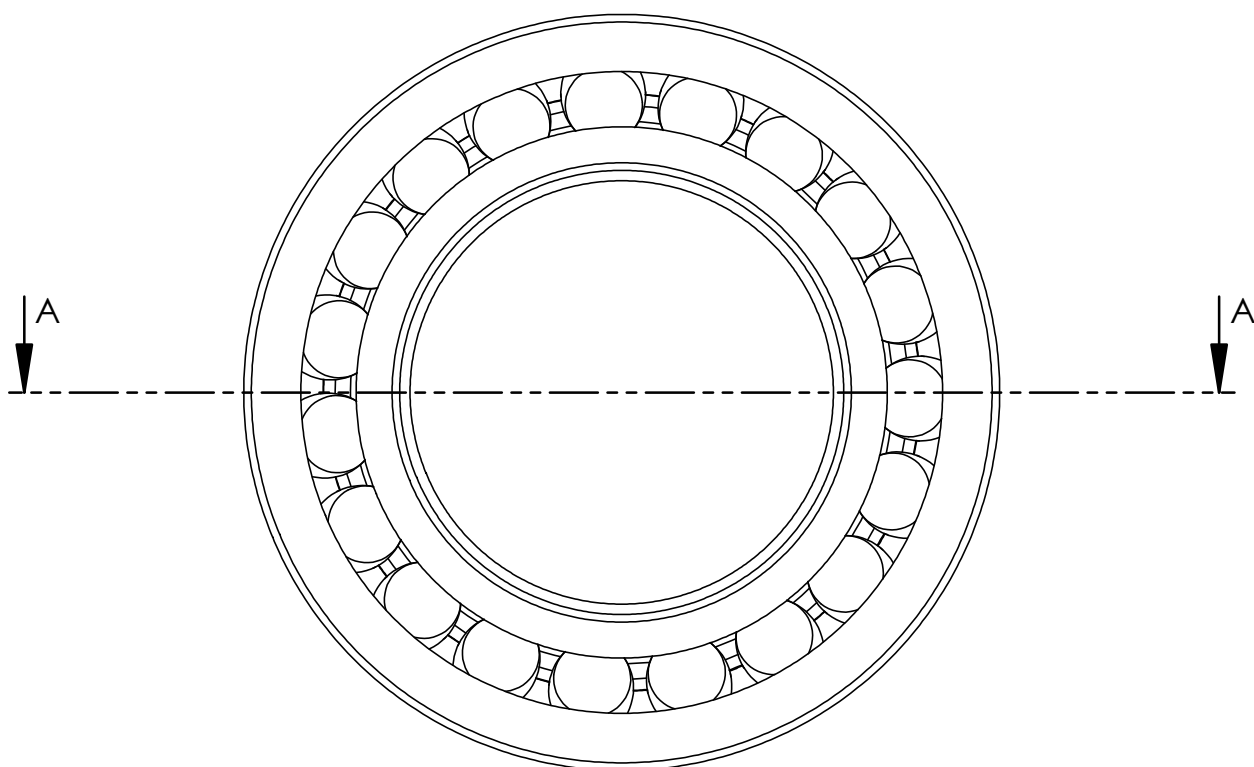
Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 280

A4

Plano Nº 73



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 5

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Rodamiento exterior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

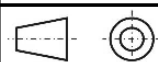
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 281

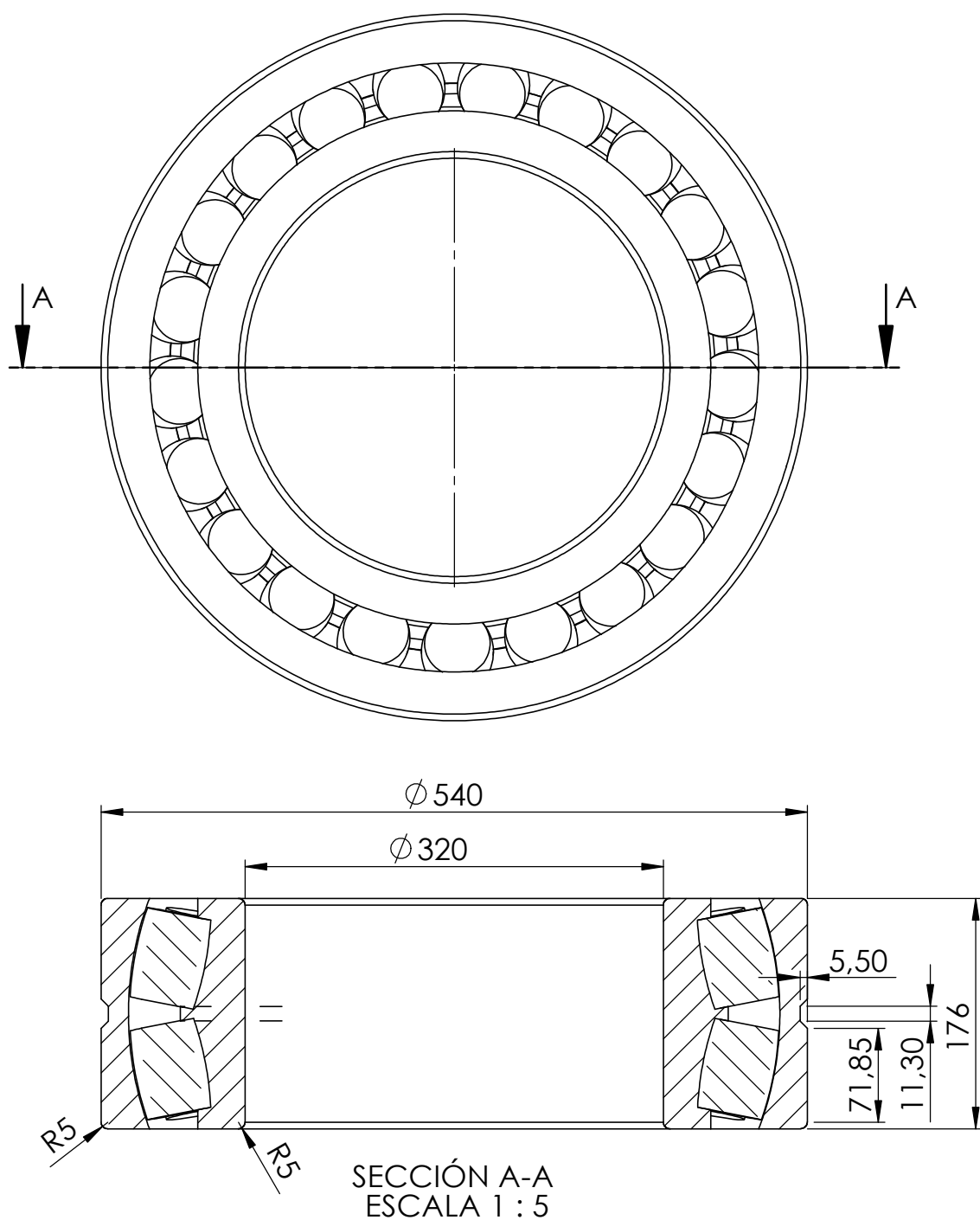
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 74



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Rodamiento interior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

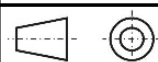
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 282

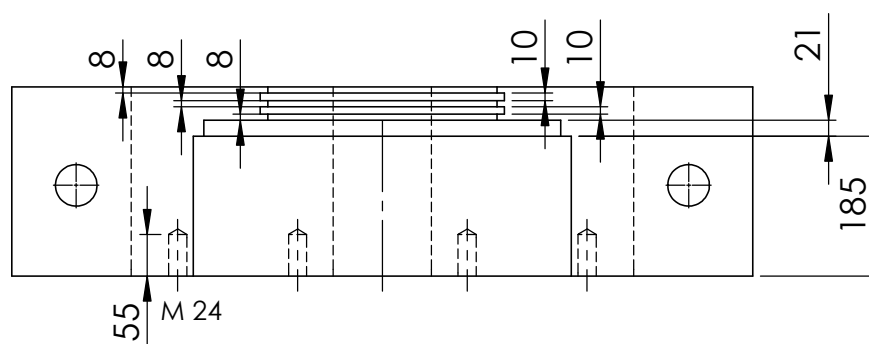
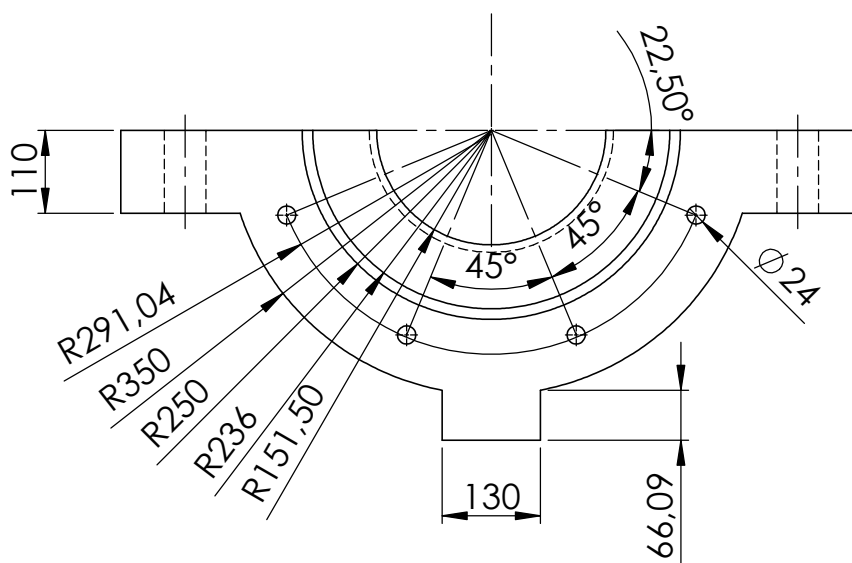
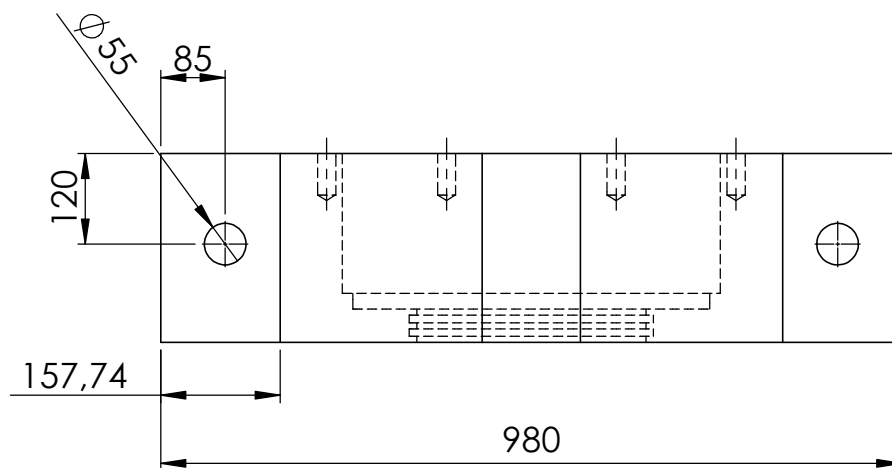
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 75



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte inferior rodamiento exterior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 283

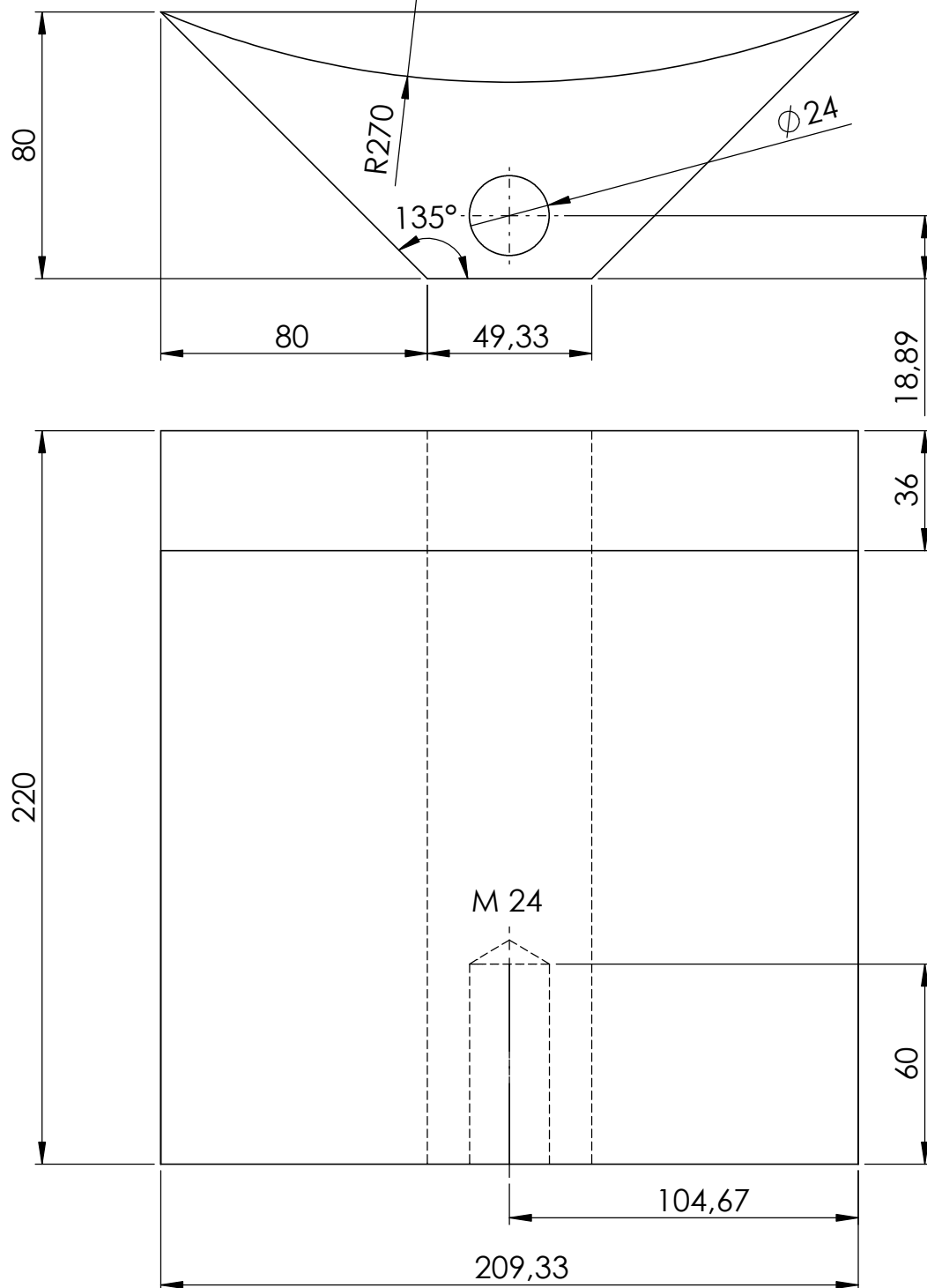
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 76



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte rodamiento interior eje

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 284

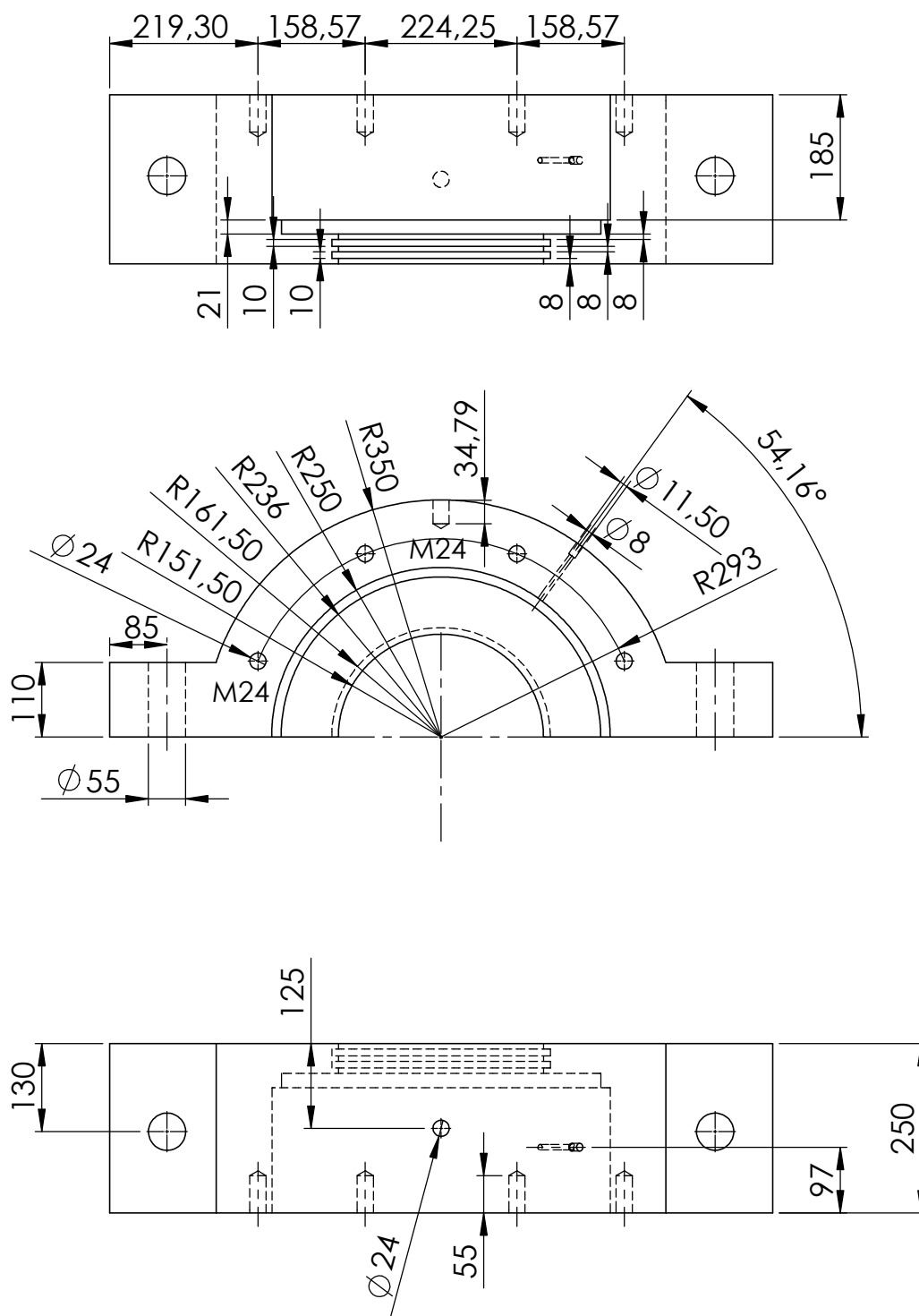
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 77



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte superior rodamiento exterior LPA

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

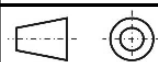
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 285

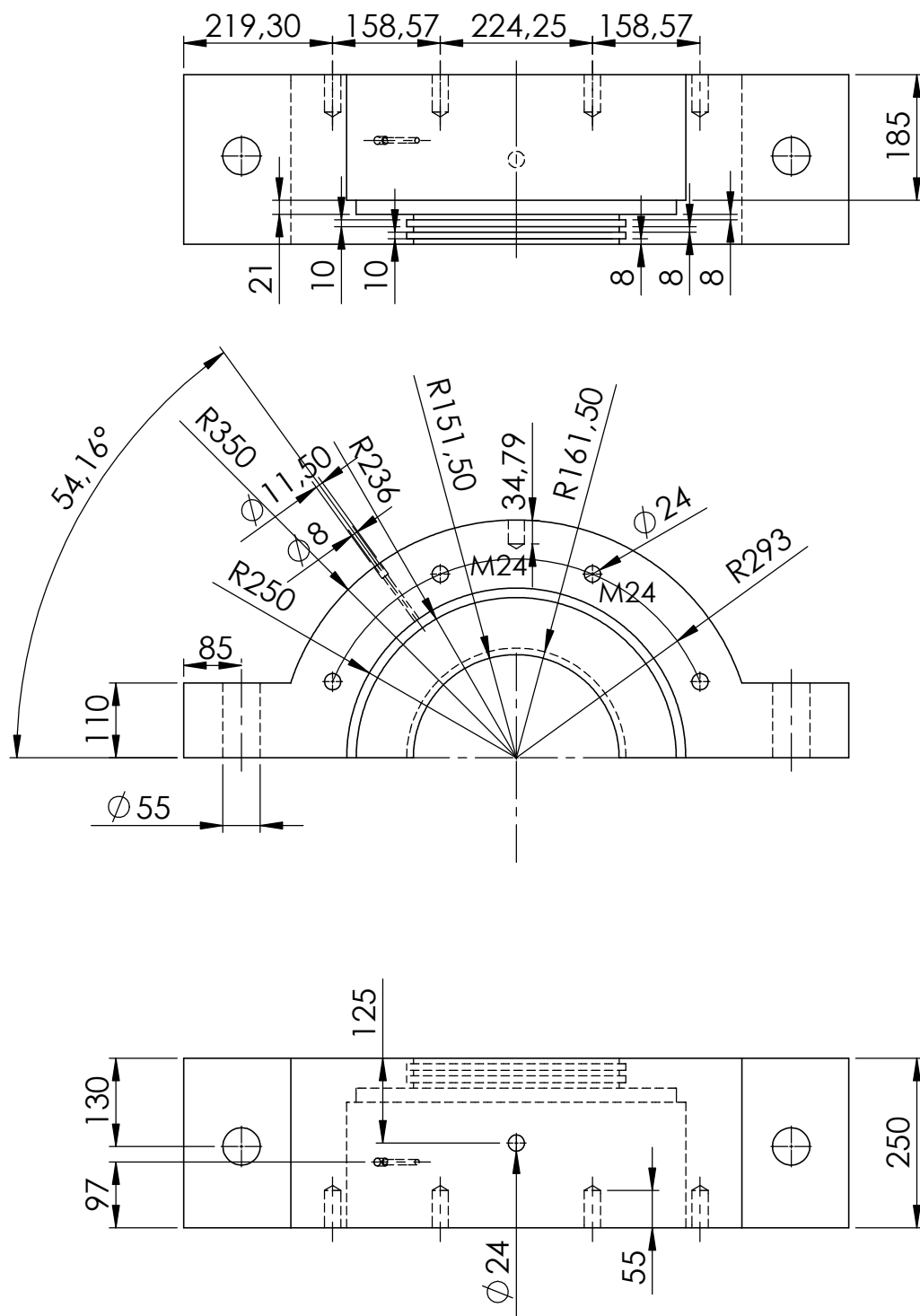
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 78



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte superior rodamiento exterior LVI

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

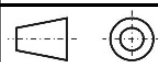
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 286

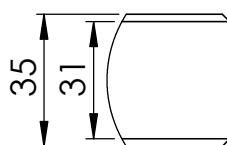
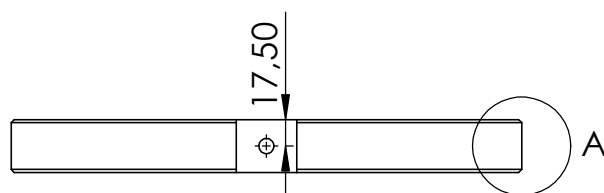
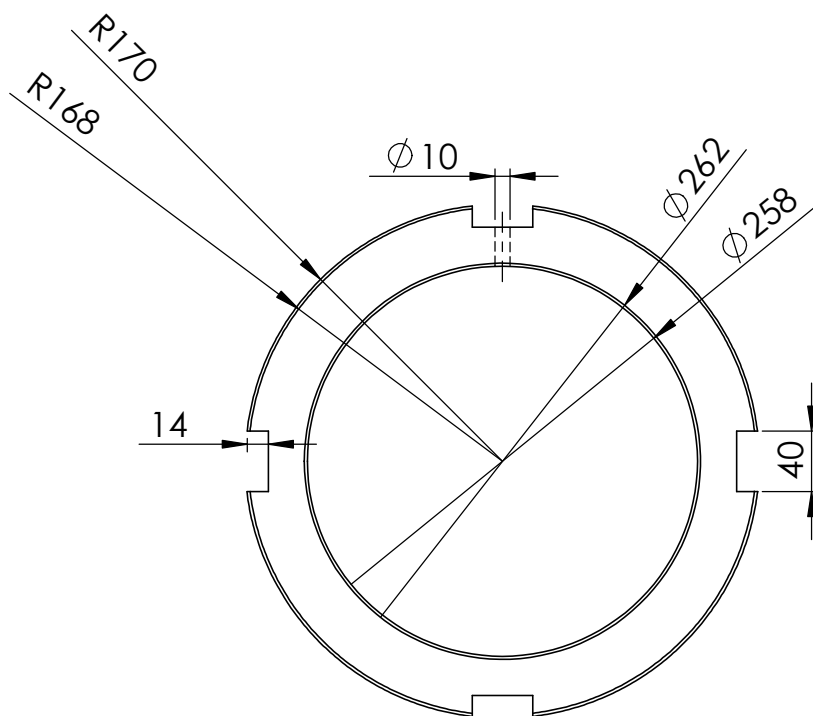
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 79



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tuerca de fijación KM

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

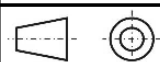
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 287

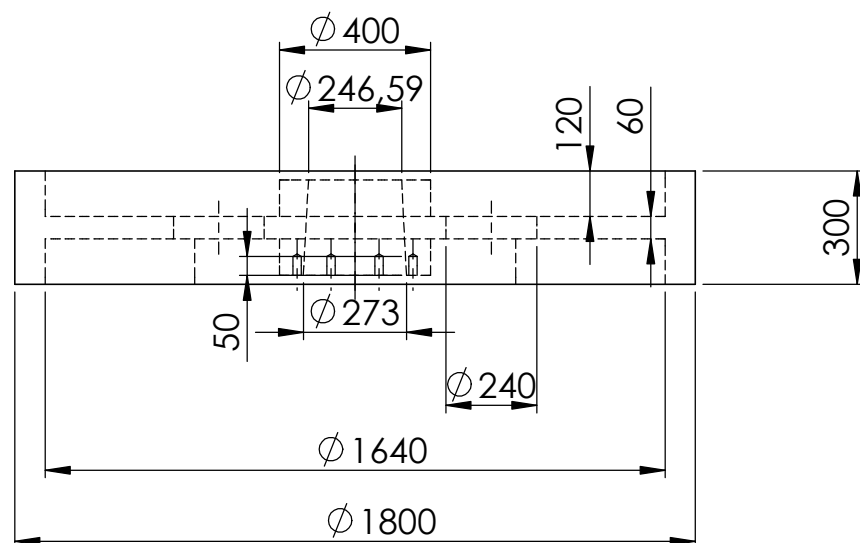
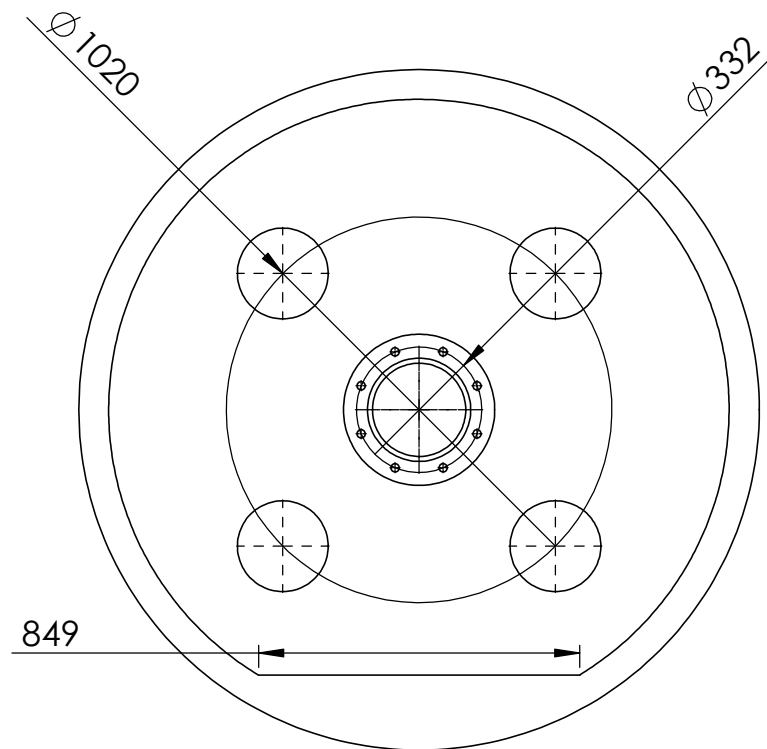
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 80



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Volante de inercia

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

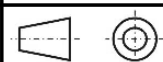
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 288

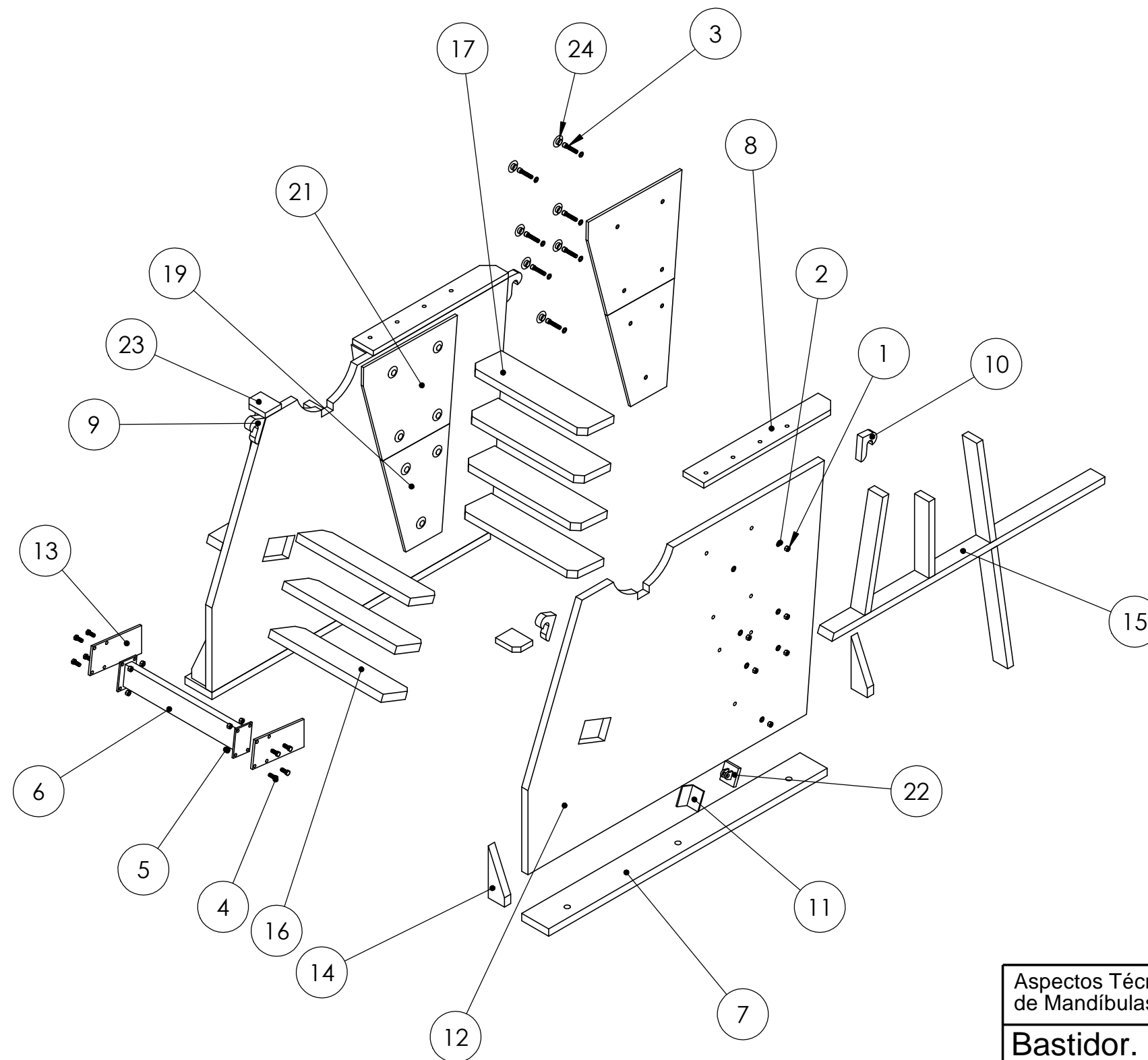
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 81



Nº	Pieza	Cantidad
1	Tuerca Hex ISO 4034-M24-S	14
2	Arandela ISO 7090-24	14
3	Tornillo Allen ISO 4762-M24x120-120-S	14
4	Tornillo ISO 4017 M24x60-S	8
5	Tuerca hex ISO 4034-M24-N	8
6	Barra de protección	1
7	Base bastidor	2
8	Base de tolvin	2
9	Enganche delantero	2
10	Enganche trasero	2
11	Escuadra bastidor-barra transversal	2
12	Pared bastidor	2
13	Pletina barra de protección delantera	2
14	Refuerzo base de bastidor	4
15	Refuerzo cuerpo de bastidor	2
16	Refuerzo delantero	3
17	Refuerzo trasero	4
18	Revestimiento inferior der	1
19	Revestimiento inferior izq	1
20	Revestimiento superior der	1
21	Revestimiento superior izq	1
22	Soporte de amortiguador lado cilindro	2
23	Soporte delantero para tolvin	2
24	Tapa protección tornillo de revestimiento	14

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Bastidor. Piezas

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:40

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



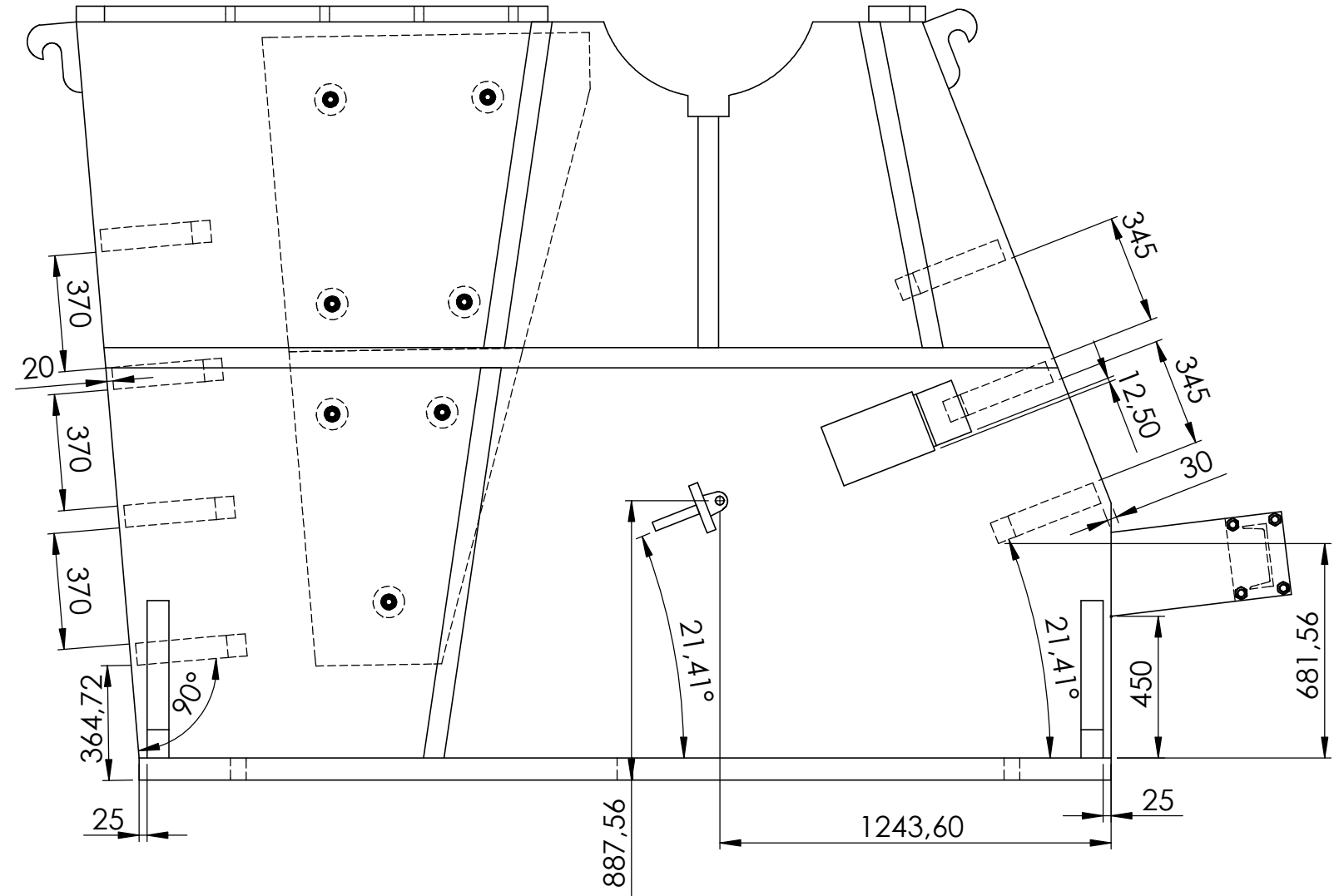
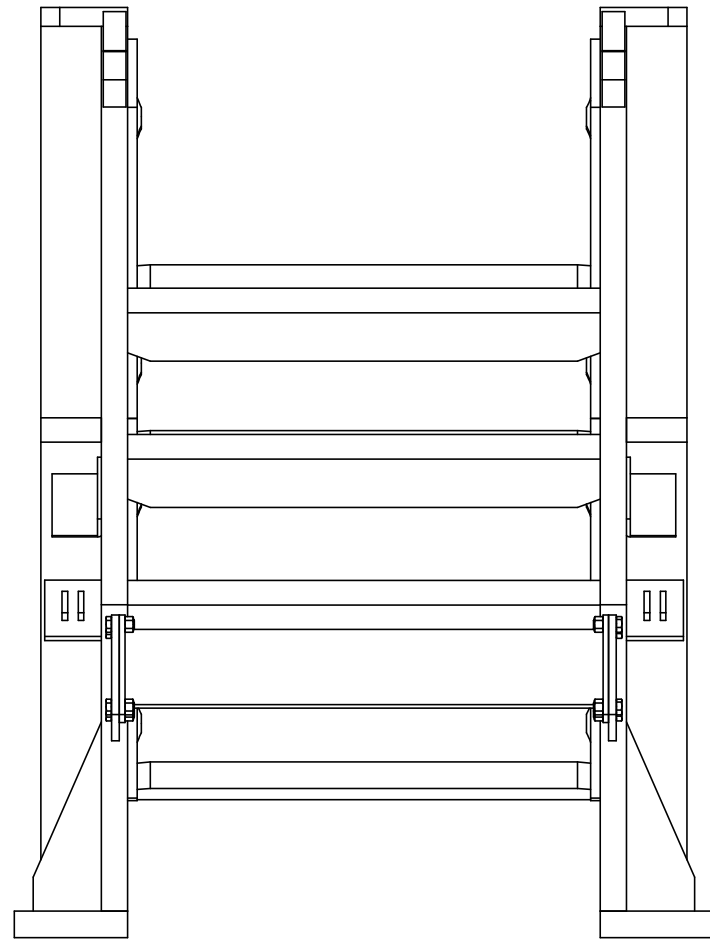
Universidad
Politécnica
de Cartagena





Hoja Nº 289

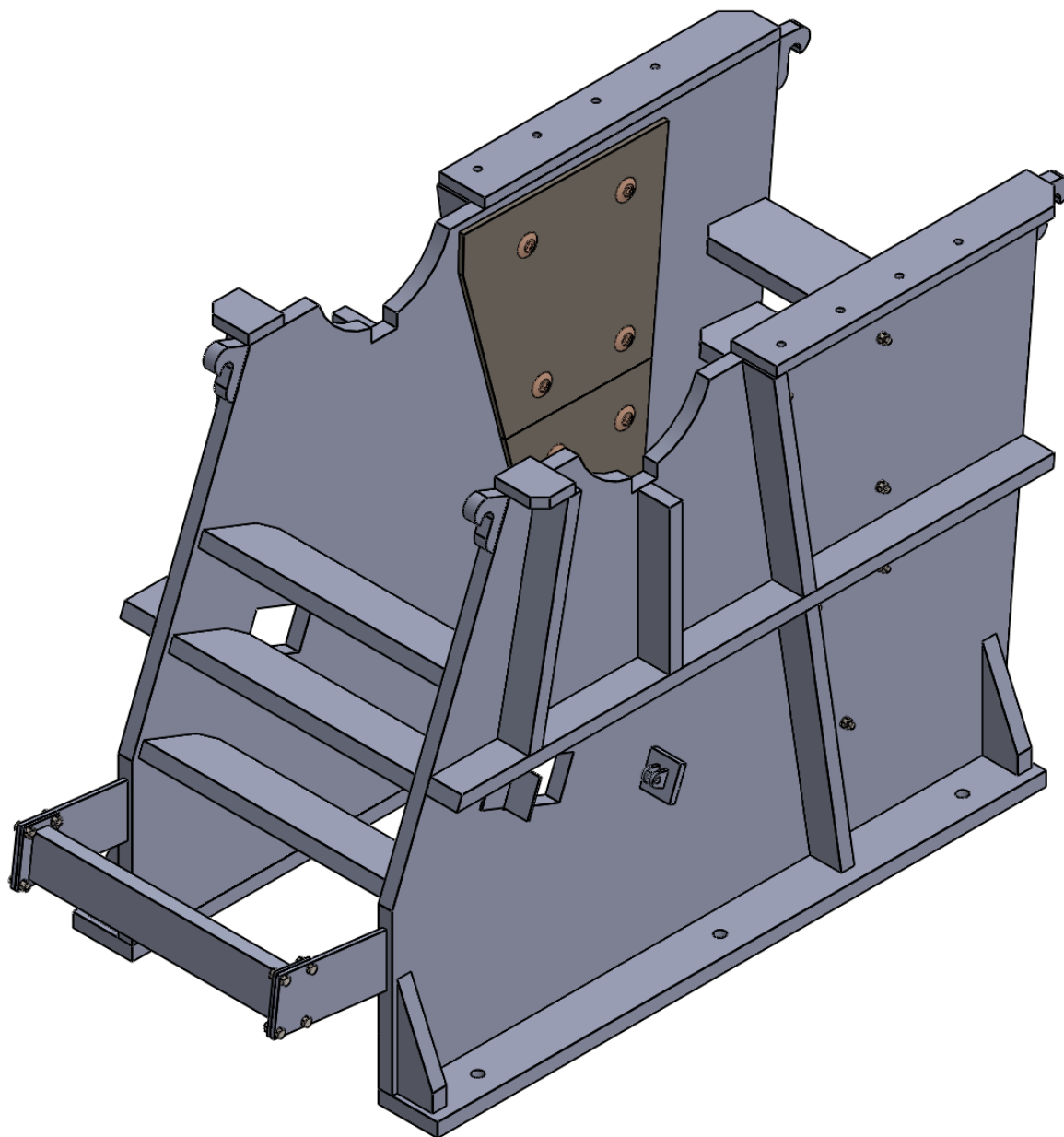
A3

Plano Nº 82



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Bastidor				José Francisco Carpena Ortega - UPCT	
				Escala 1:20	
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena		Hoja Nº 290
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3	Plano Nº 83



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Bastidor. Vista 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

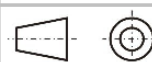
Escala 1:25

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



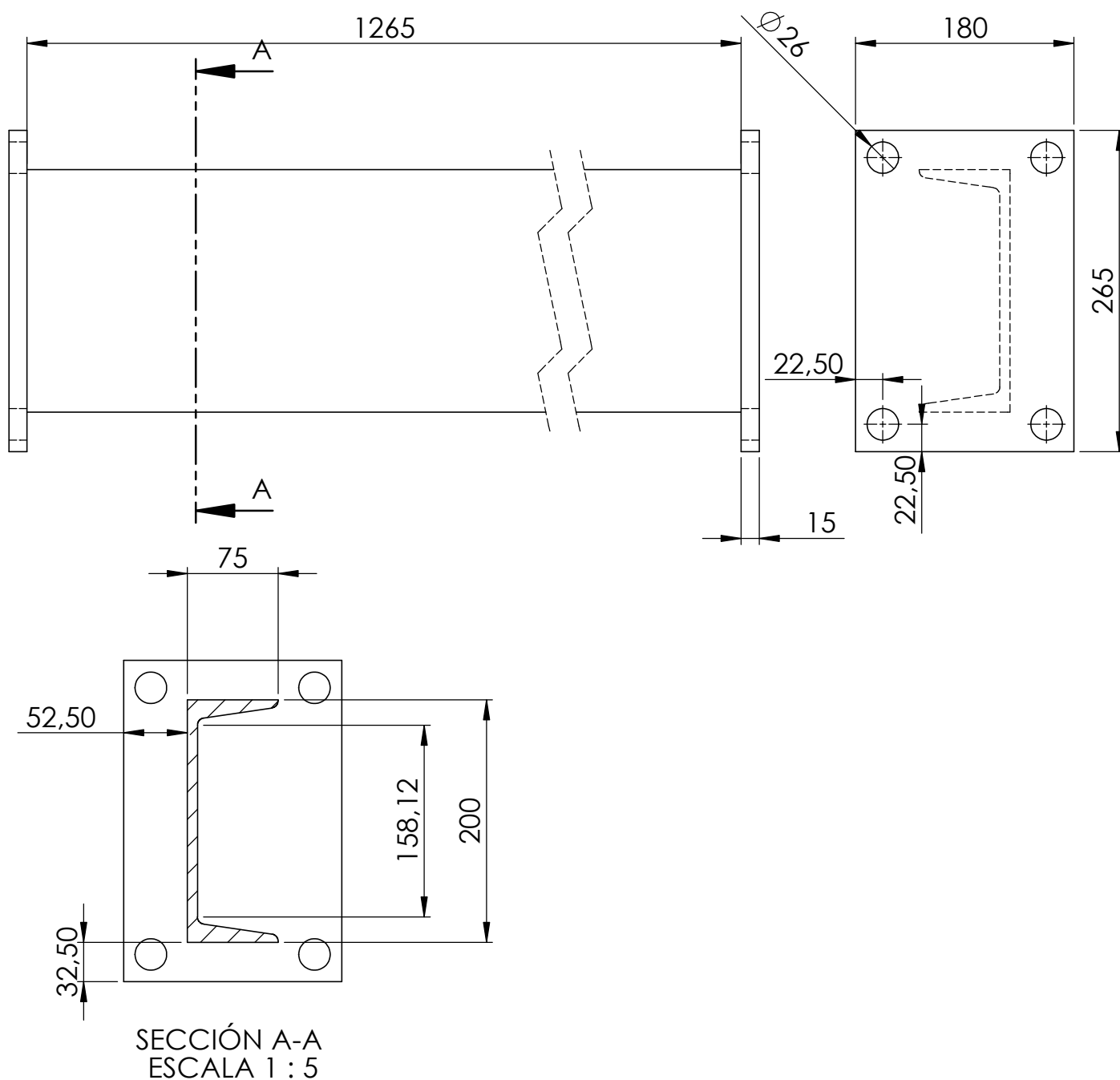
Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 291

A4

Plano N° 84



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Barra de protección

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 292

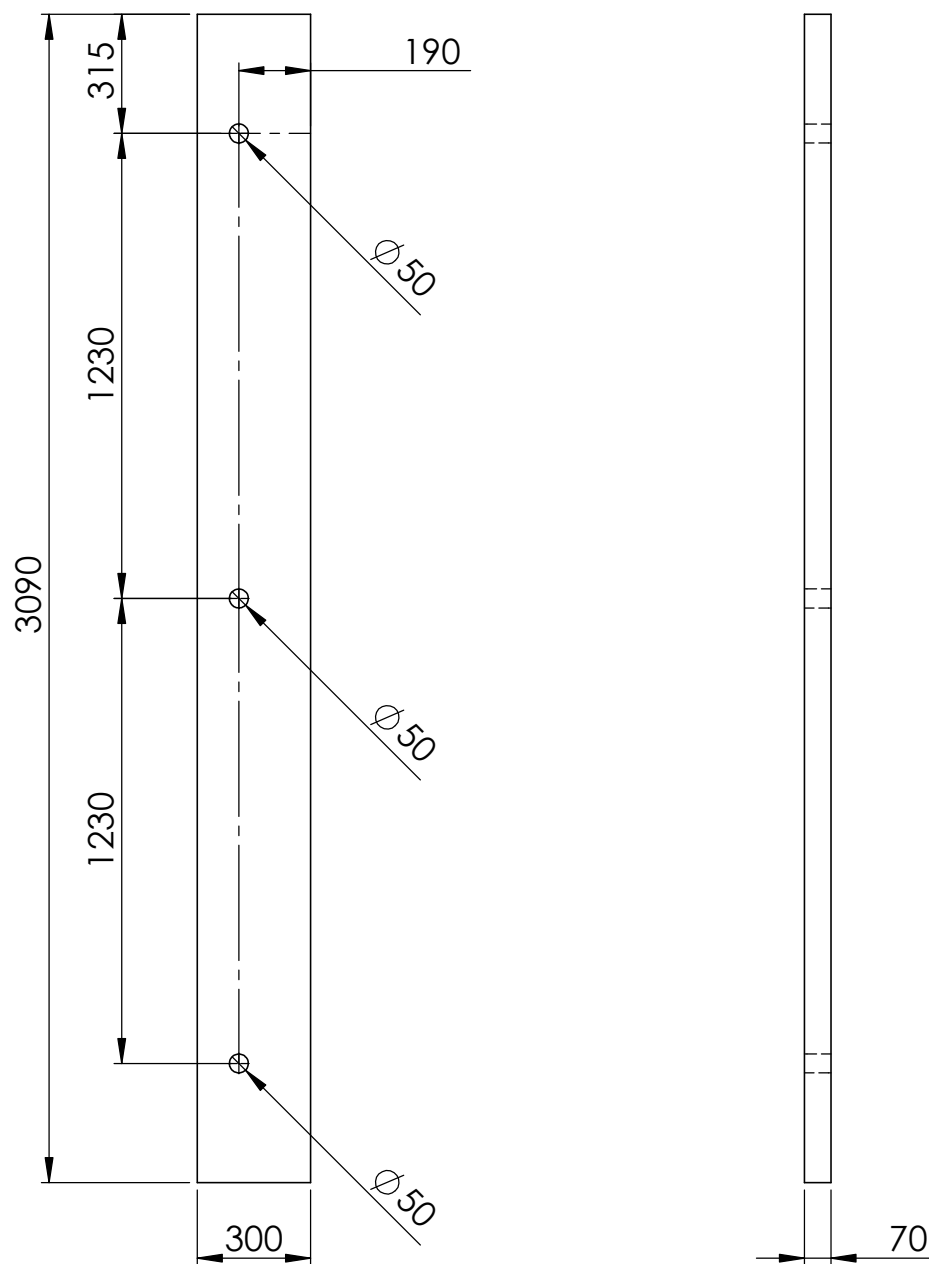
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 85



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Base bastidor

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 293

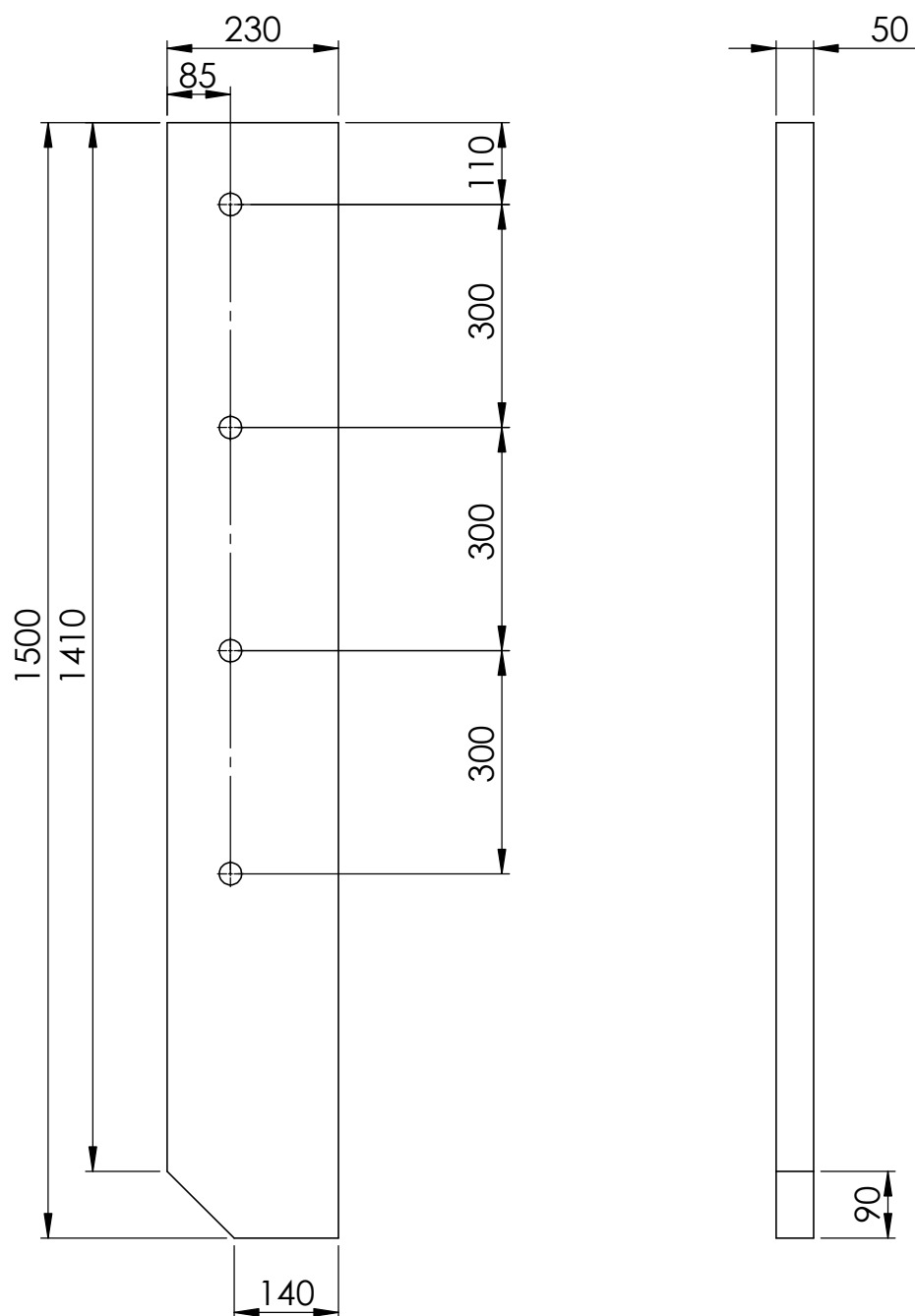
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 86



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Base tolvin

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

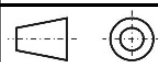
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 294

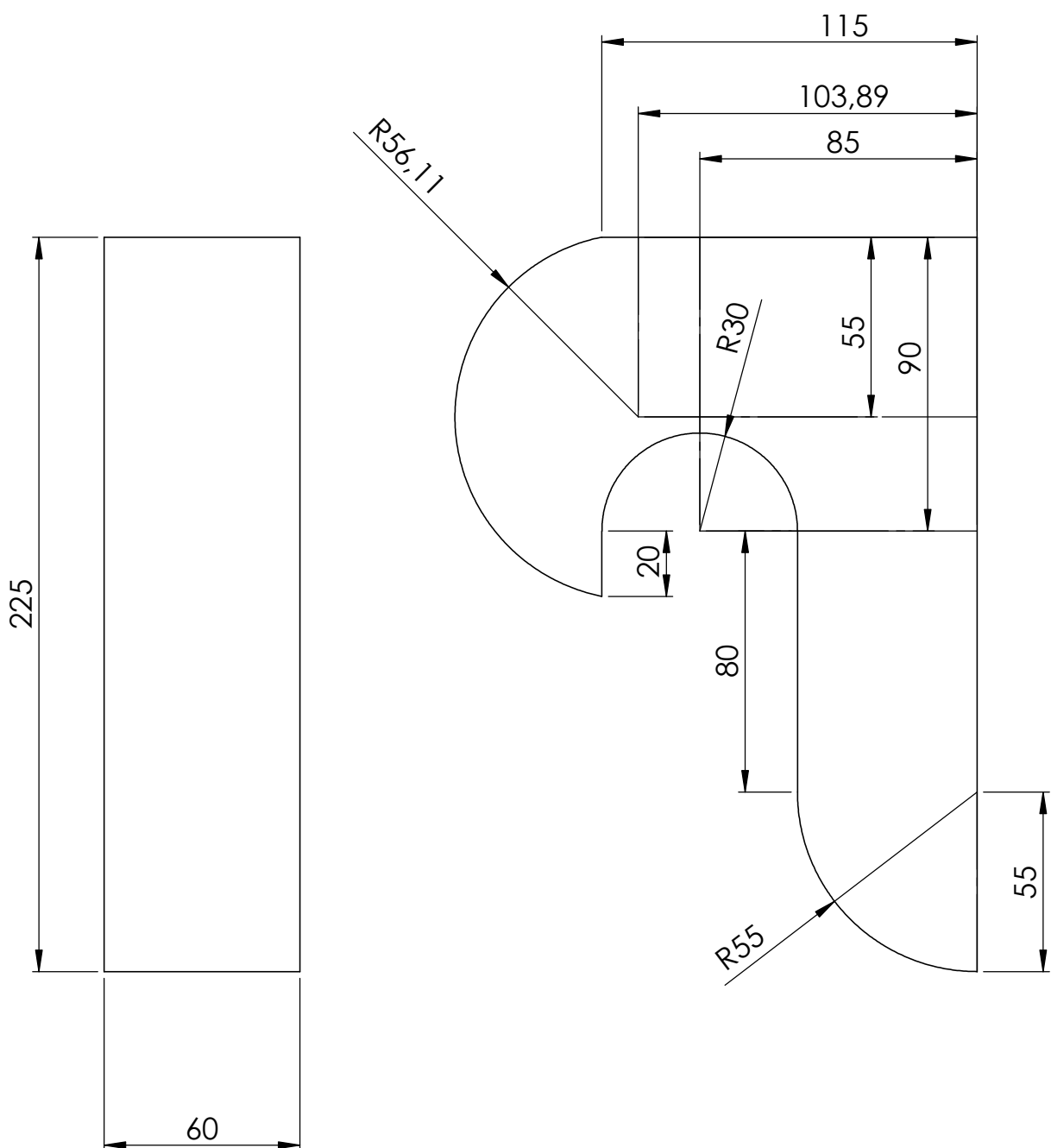
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 87



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Enganche trasero

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

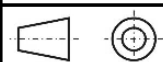
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 296

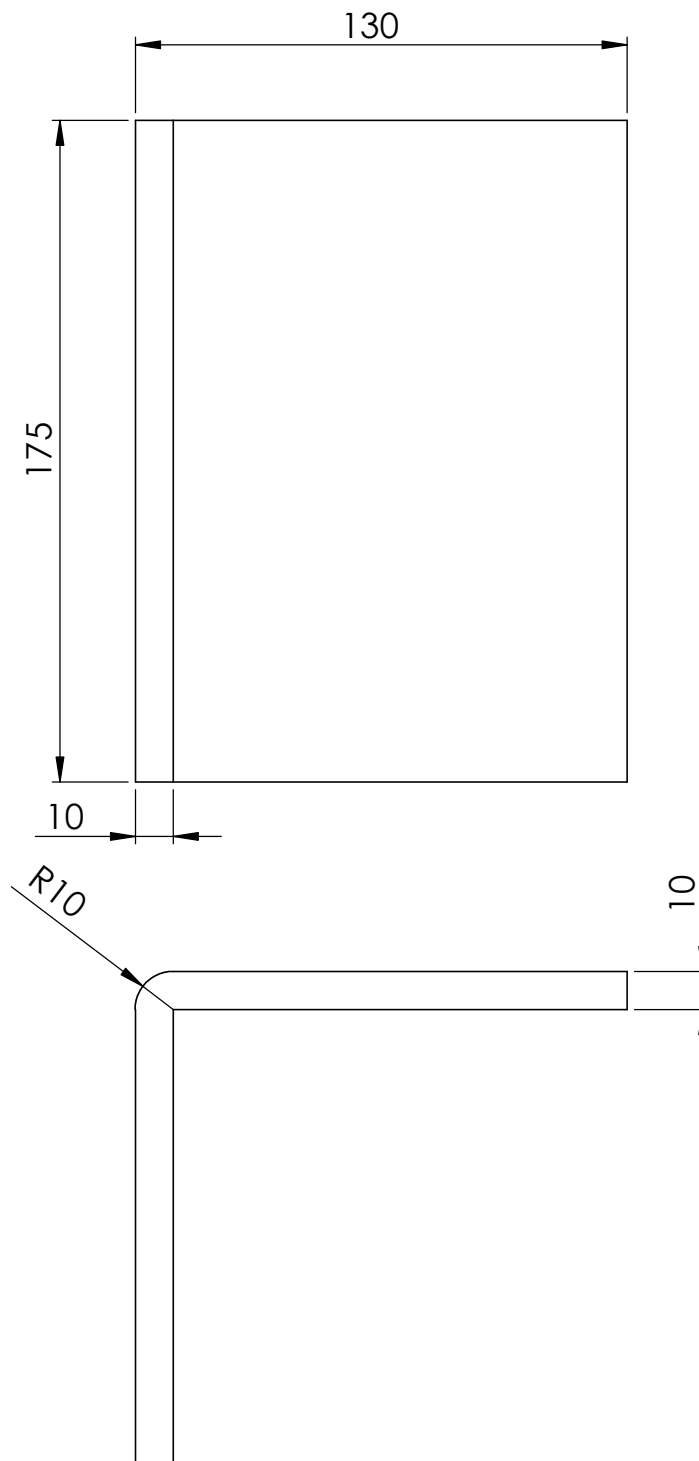
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 89



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Escuadra bastidor - barra transversal

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 297

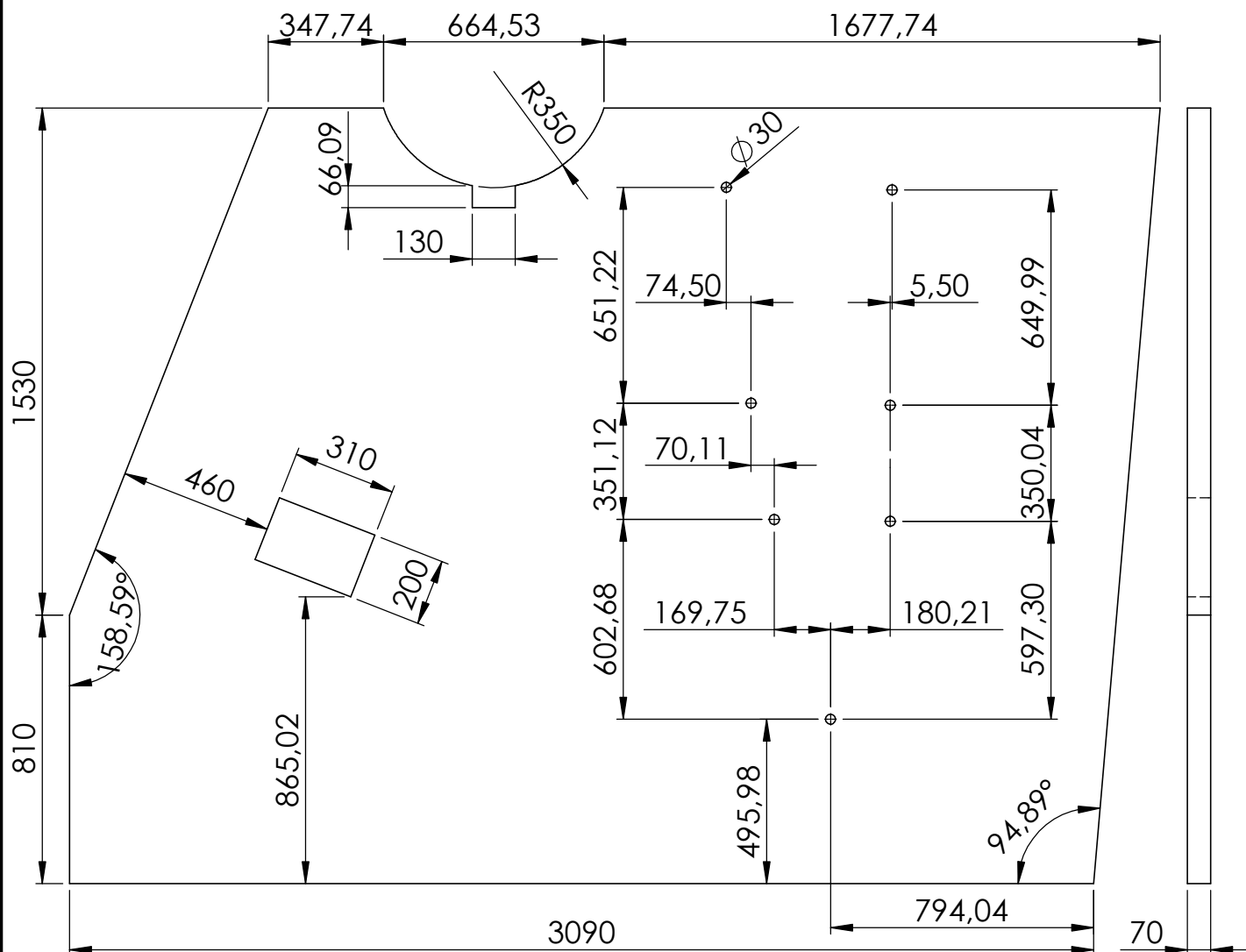
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 90



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Pared bastidor

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

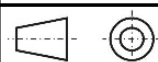
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 298

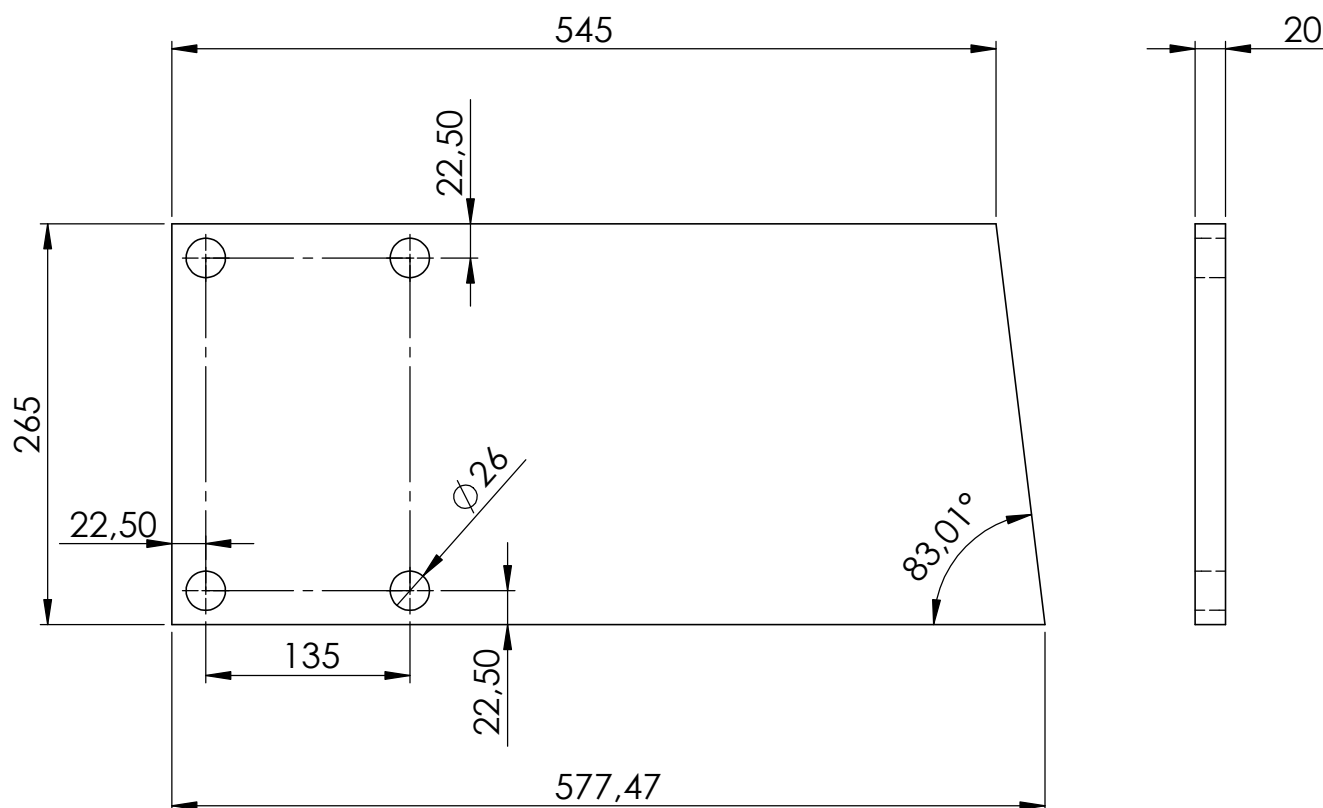
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 91



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Pletina barra de protección delantera

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 299

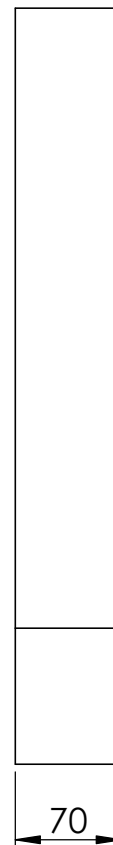
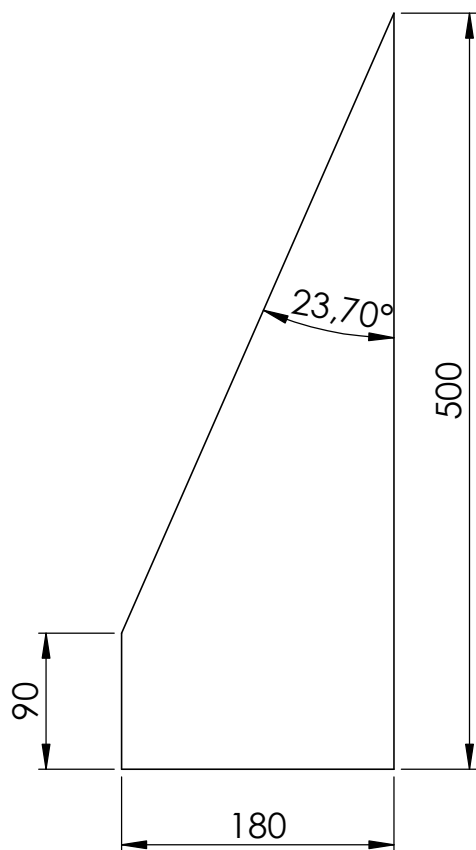
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 92



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo base bastidor

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 300

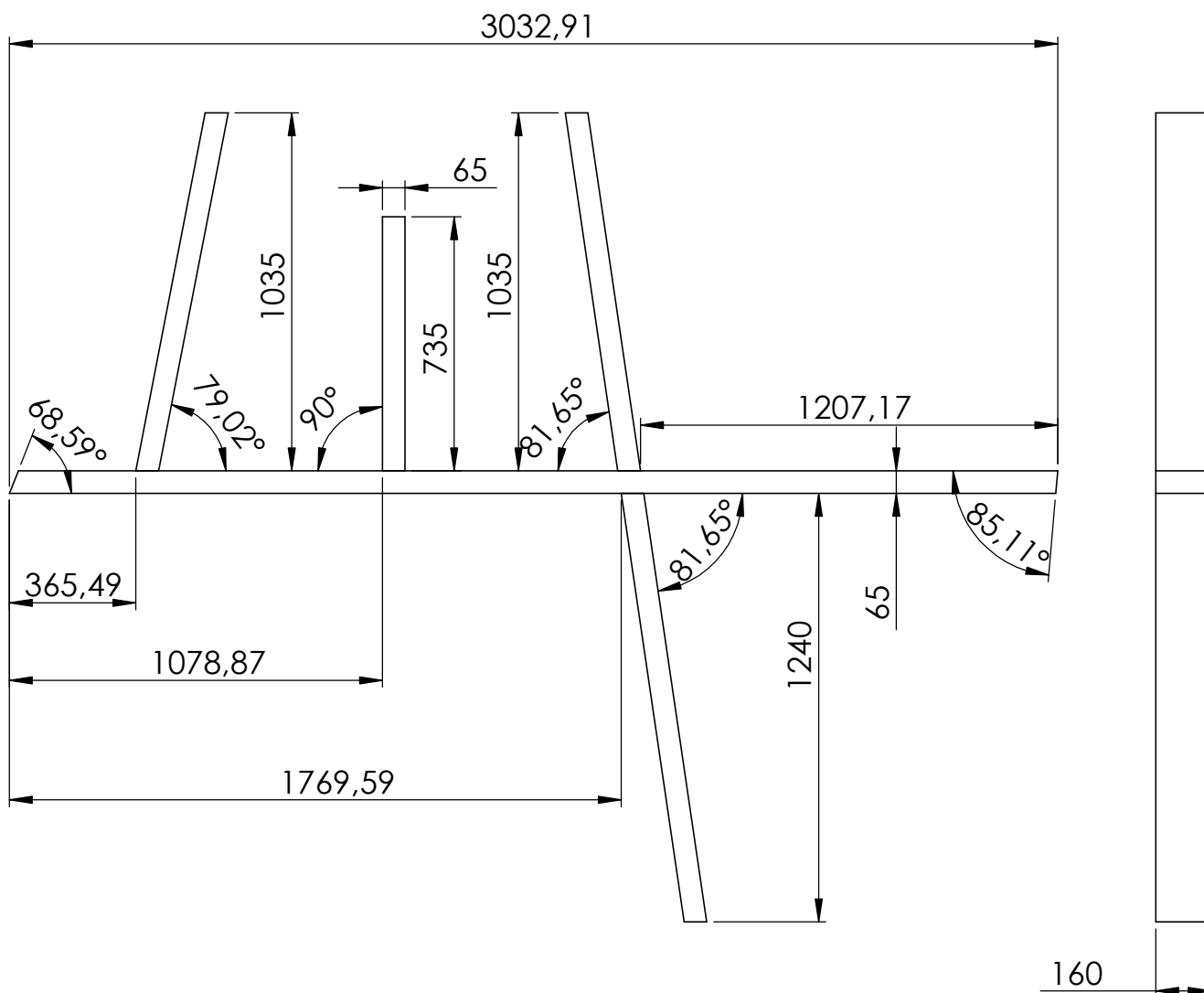
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 93



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo pared del bastidor

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

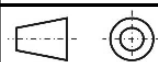
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 301

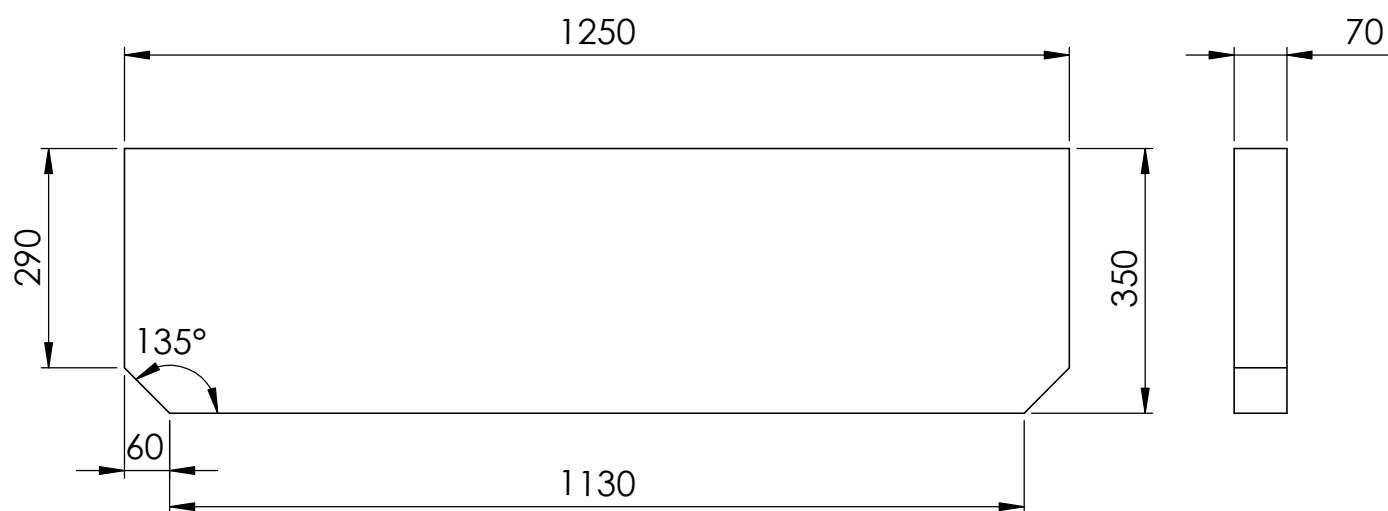
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 94



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo delantero

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 302

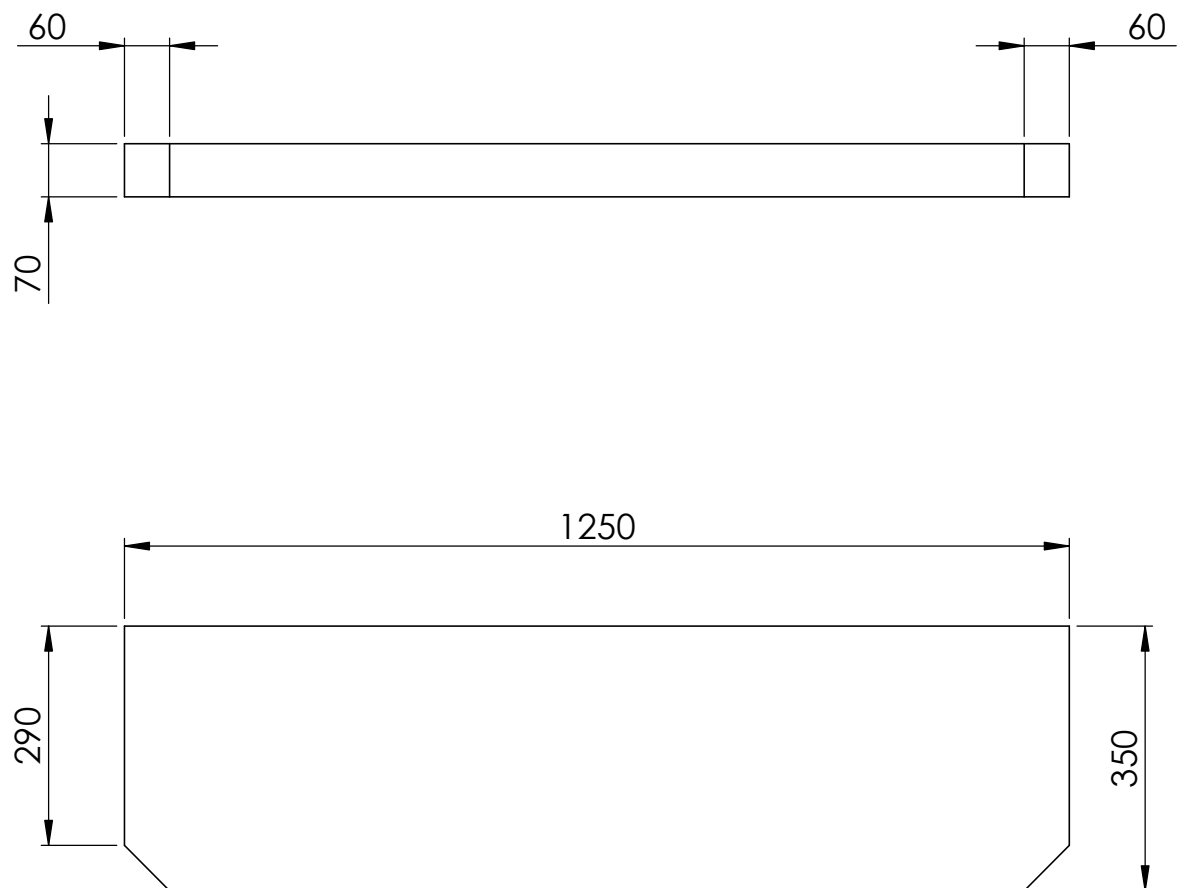
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 95



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo trasero

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

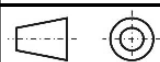
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 303

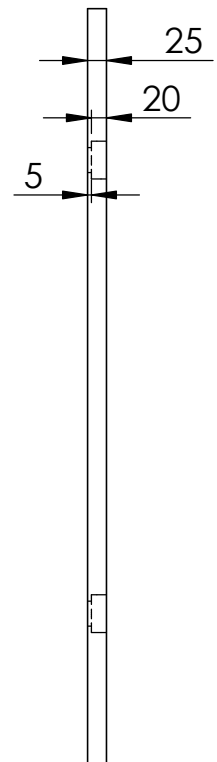
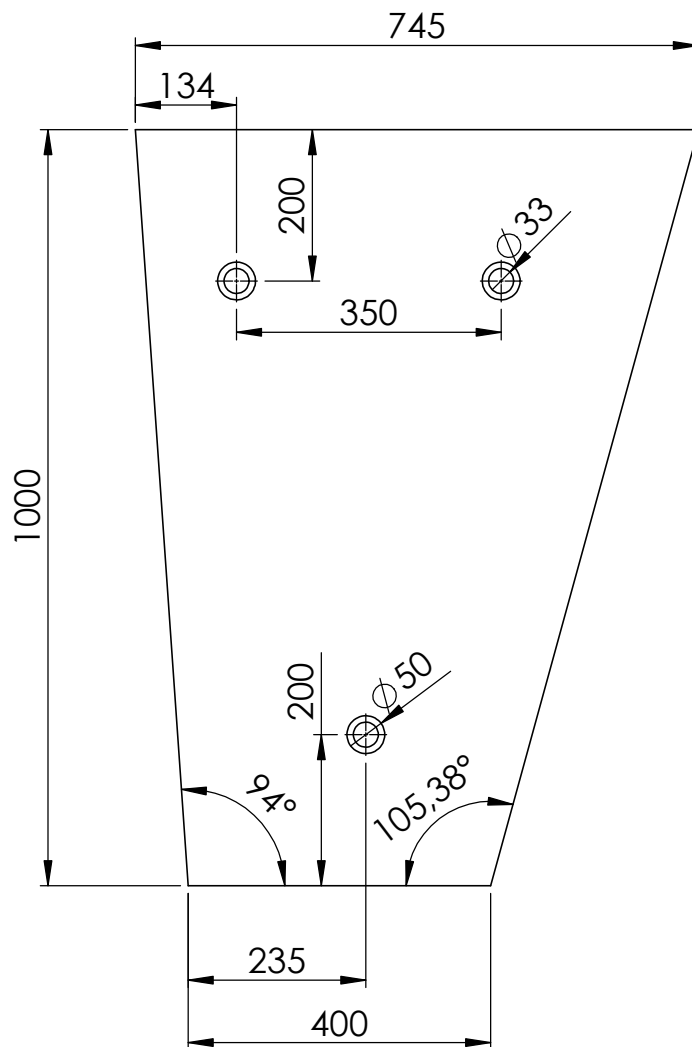
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 96



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Revestimiento inferior derecho

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 304

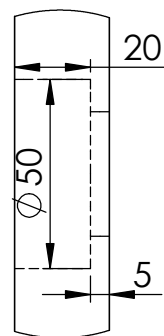
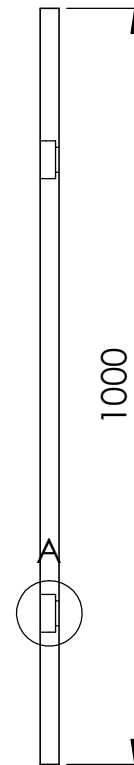
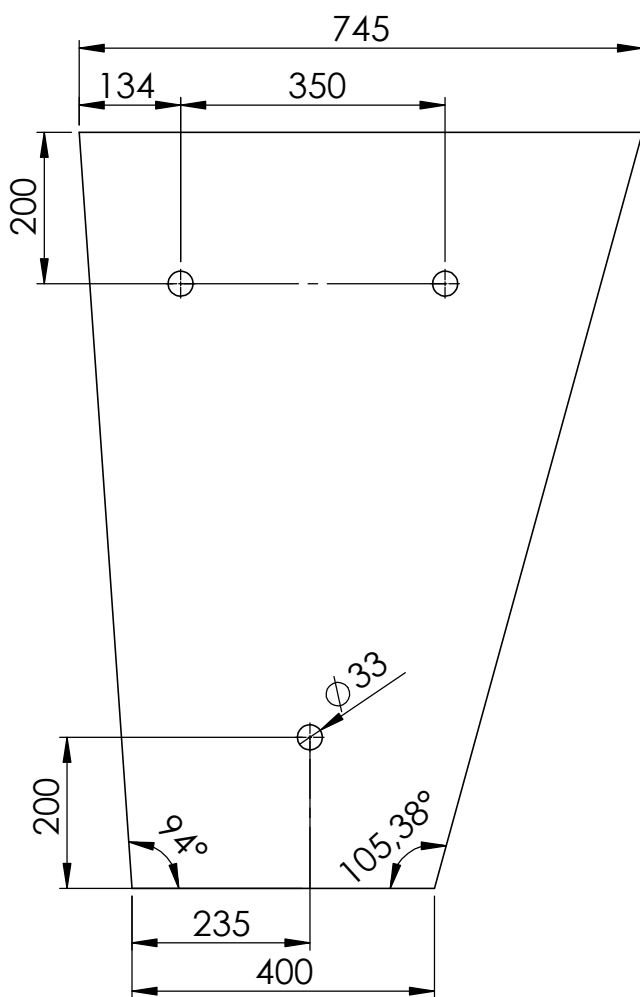
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 97



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Revestimiento inferior izquierdo

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 305

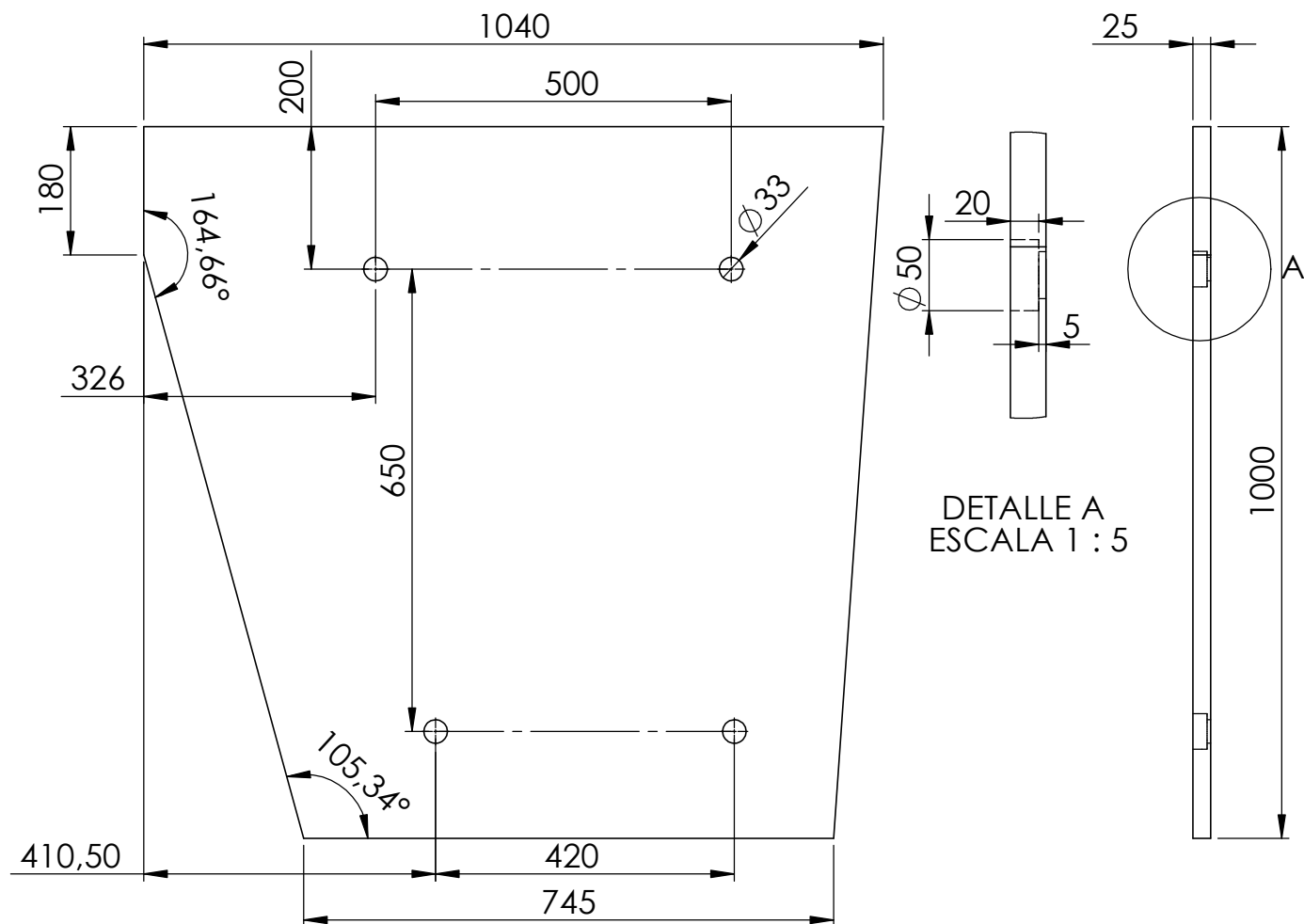
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 98



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Revestimiento superior derecho

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 306

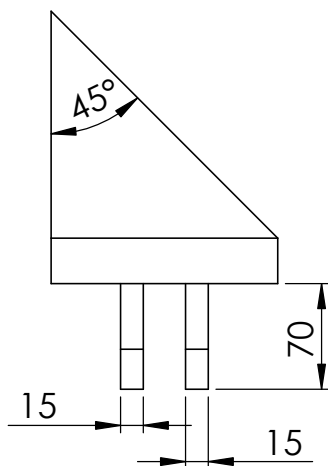
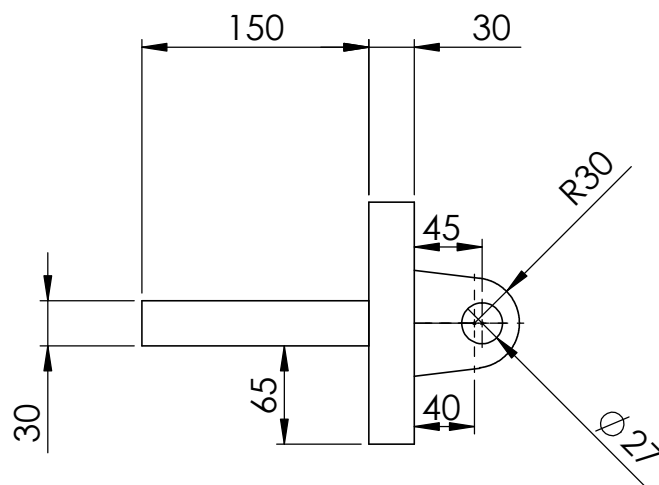
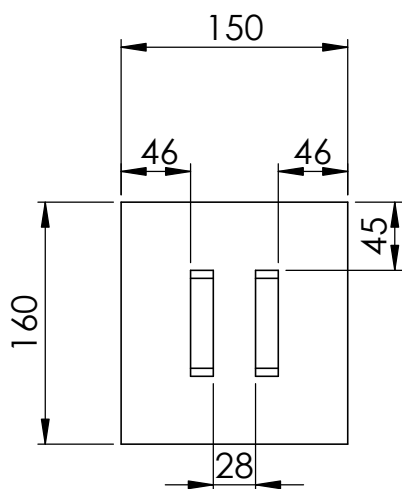
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 99



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte amortiguador lado cilindro

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 308

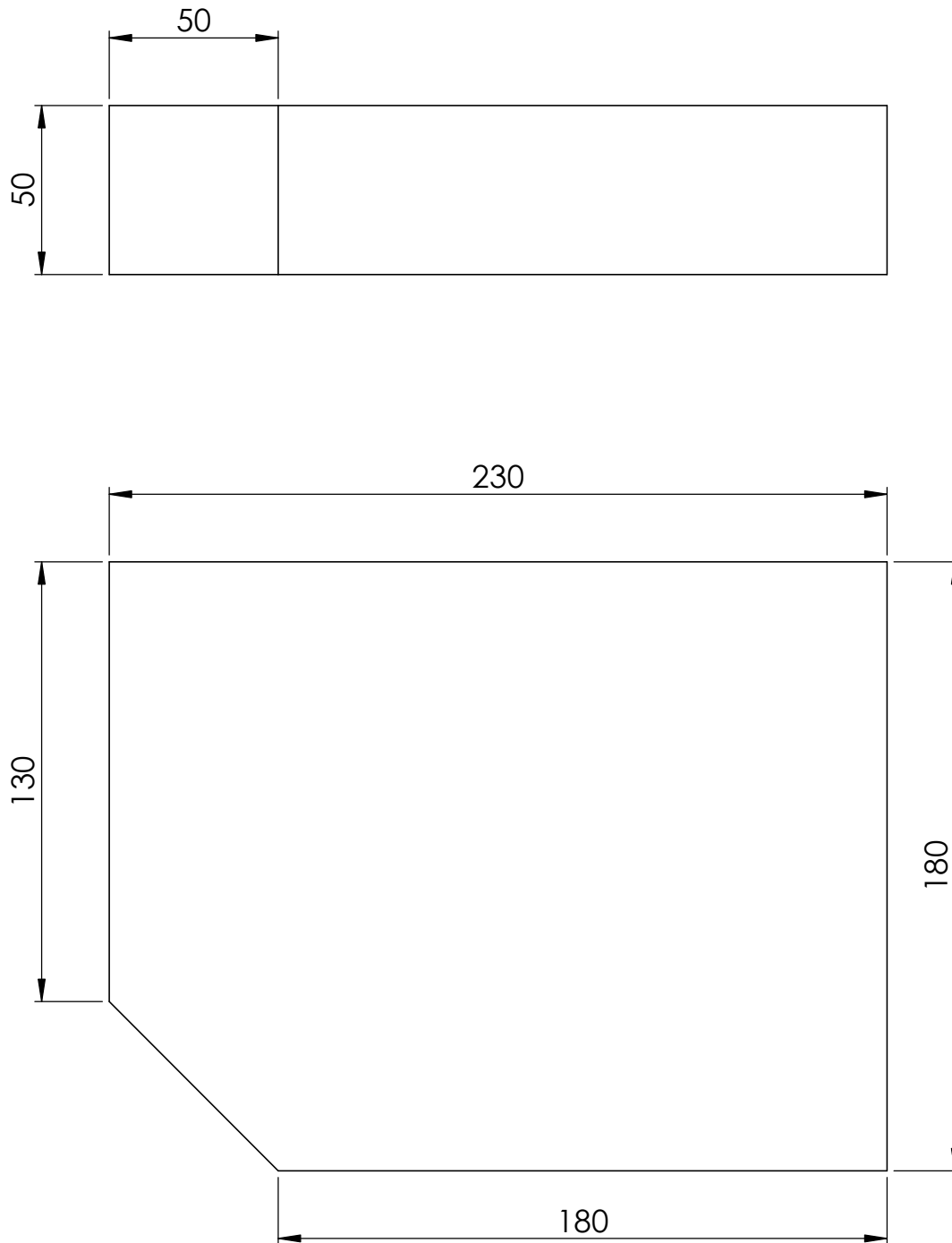
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 101



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Soporte delantero para tolván

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 309

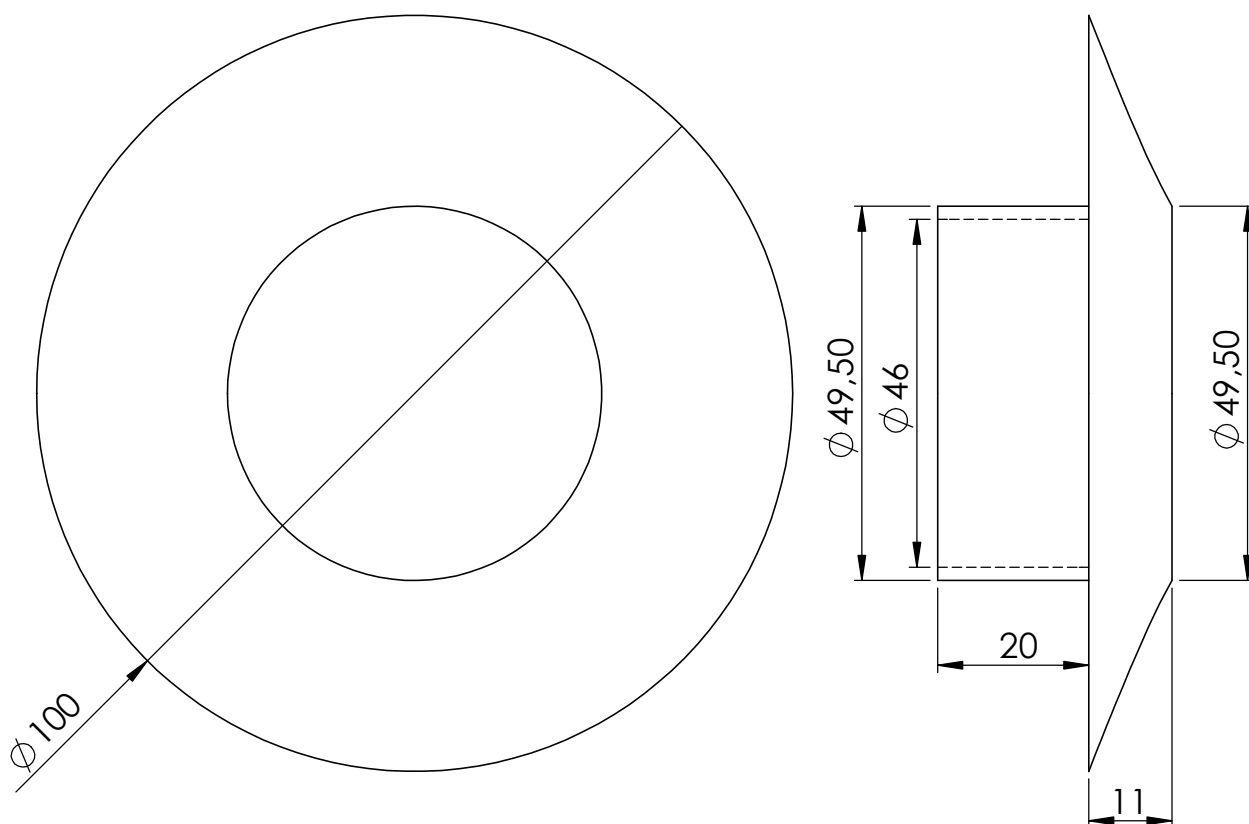
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 102



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tapa de protección tornillo revestimiento

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:1

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 310

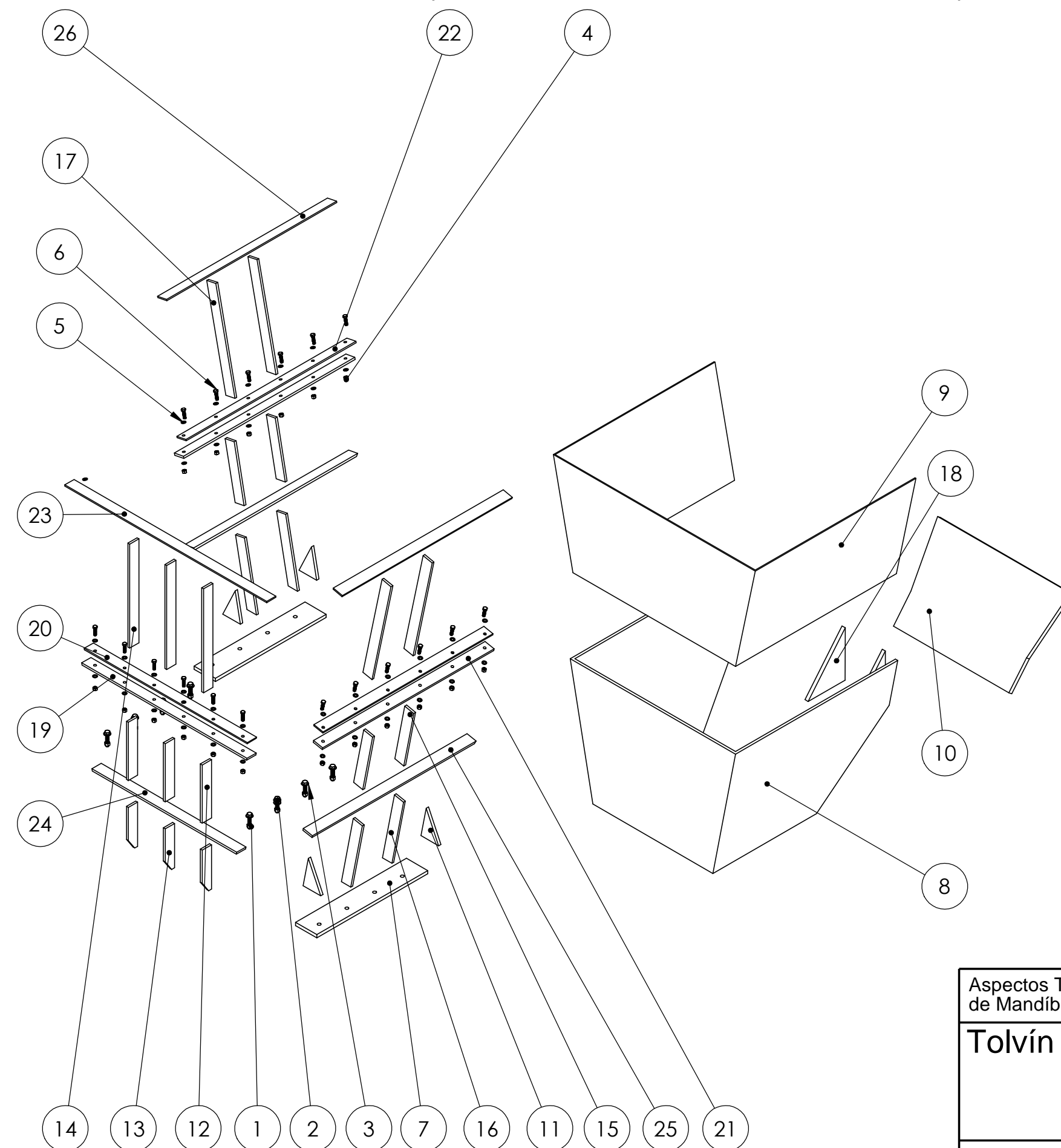
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 103



Nº	Pieza	Cantidad
1	Tuerca hex ISO 4034-M24-N	8
2	Tornillo hex ISO 4016-M24x120x120-NS	8
3	Arandela ISO 7090-30	8
4	Tuerca hex ISO 4034-M20-S	18
5	Arandela ISO 7090-20	36
6	Tornillo hex 4015-M20x70x70-s	18
7	Chapa apoyo anclaje lateral	2
8	Chapa inferior	1
9	Chapa superior	1
10	Chapa trasera	1
11	Refuerzo base chapa lateral	4
12	Refuerzo chapa frontal centro	3
13	Refuerzo chapa frontal inferior	3
14	Refuerzo chapa frontal superior	3
15	Refuerzo chapa lateral centro	4
16	Refuerzo chapa lateral inferior	4
17	Refuerzo chapa lateral superior	4
18	Refuerzo chapa trasera	2
19	Refuerzo ensamble chapa frontal inferior	1
20	Refuerzo ensamble chapa frontal superior	1
21	Refuerzo ensamble chapa lateral inferior	2
22	Refuerzo ensamble chapa lateral superior	2
23	Refuerzo frontal borde superior	1
24	Refuerzo inferior chapa frontal	1
25	Refuerzo inferior chapa lateral	2
26	Refuerzo lateral borde superior	2

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tolvin de entrada. Piezas

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:35

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 311

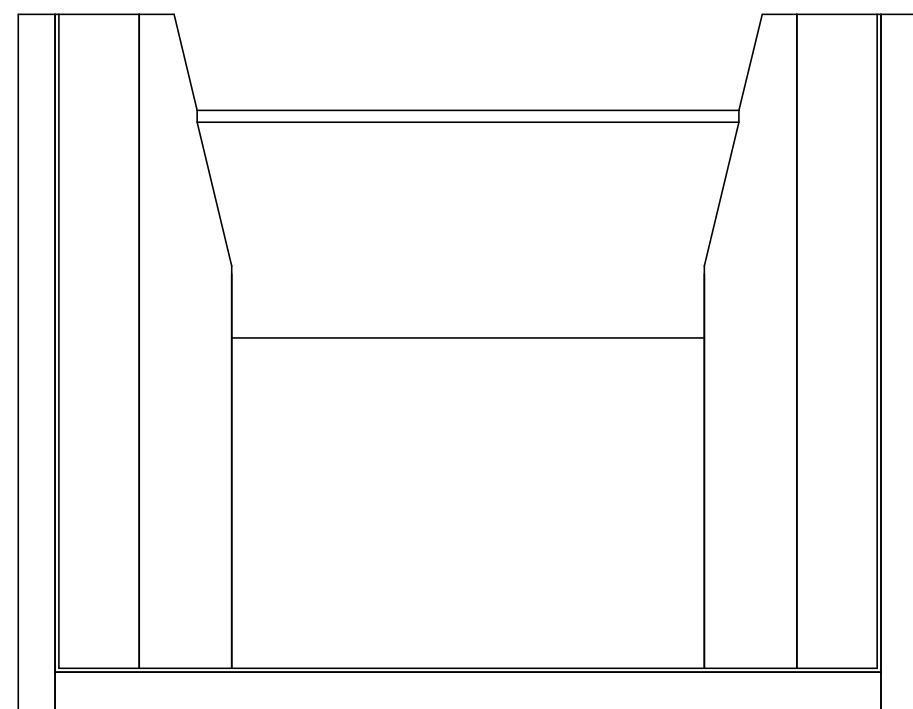
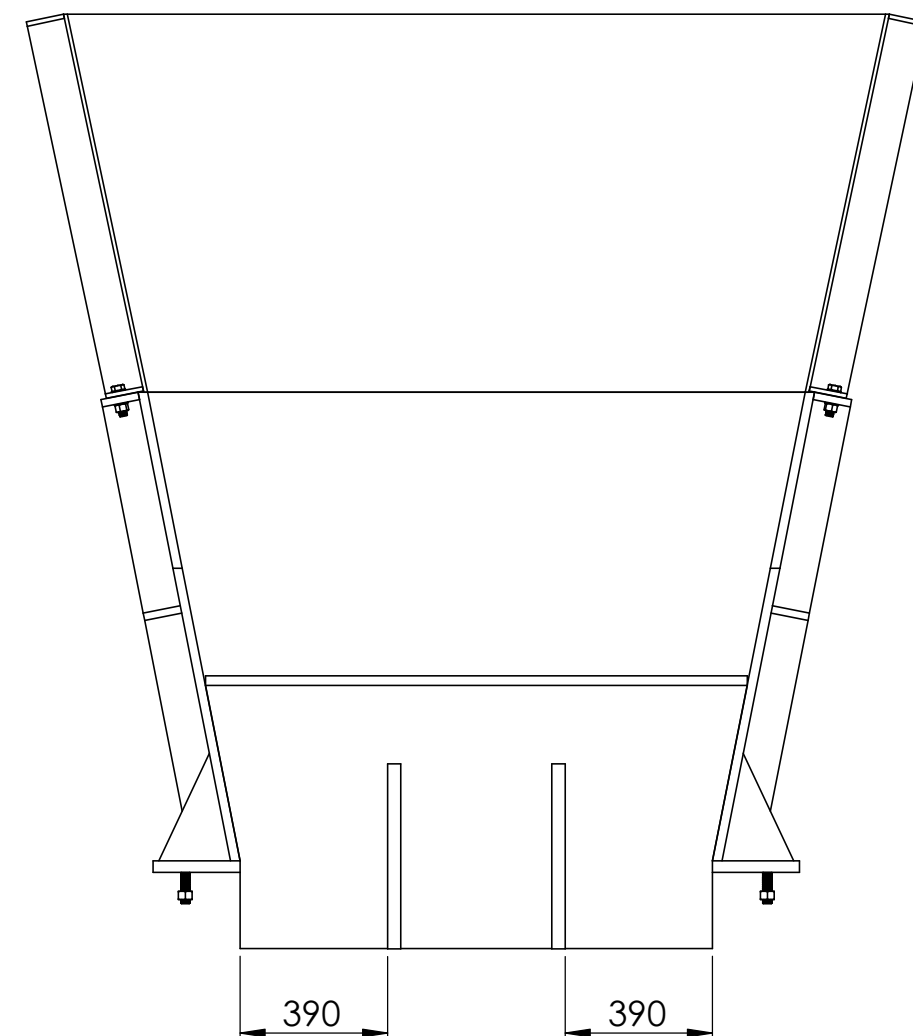
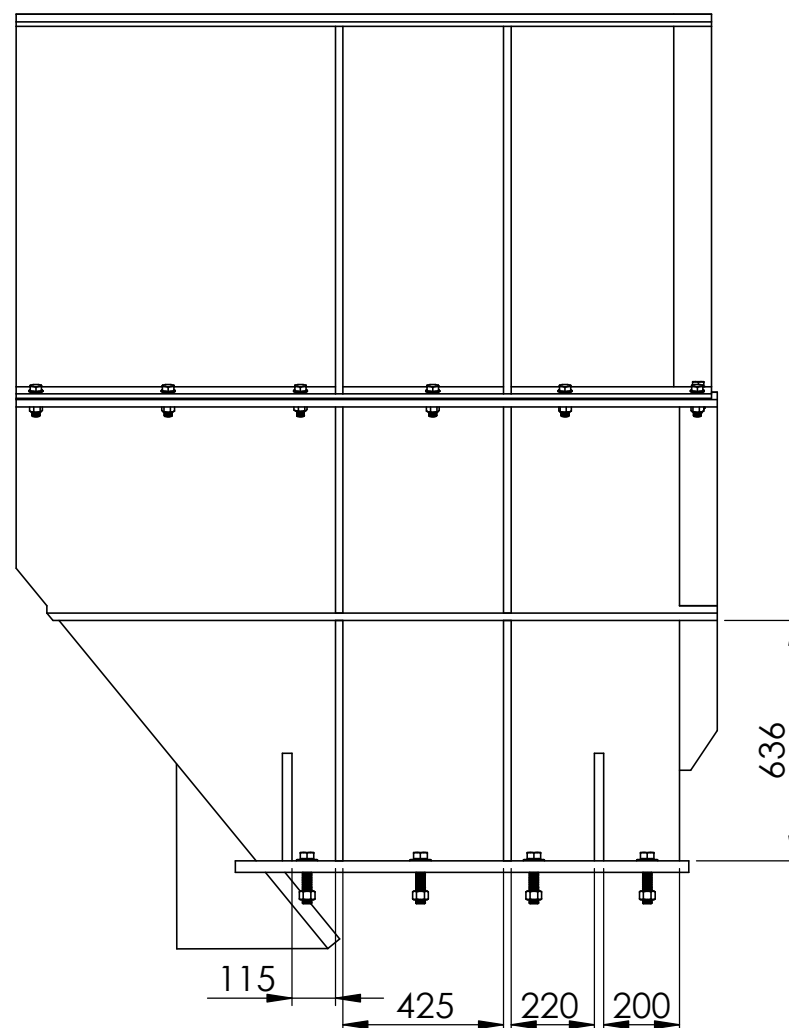
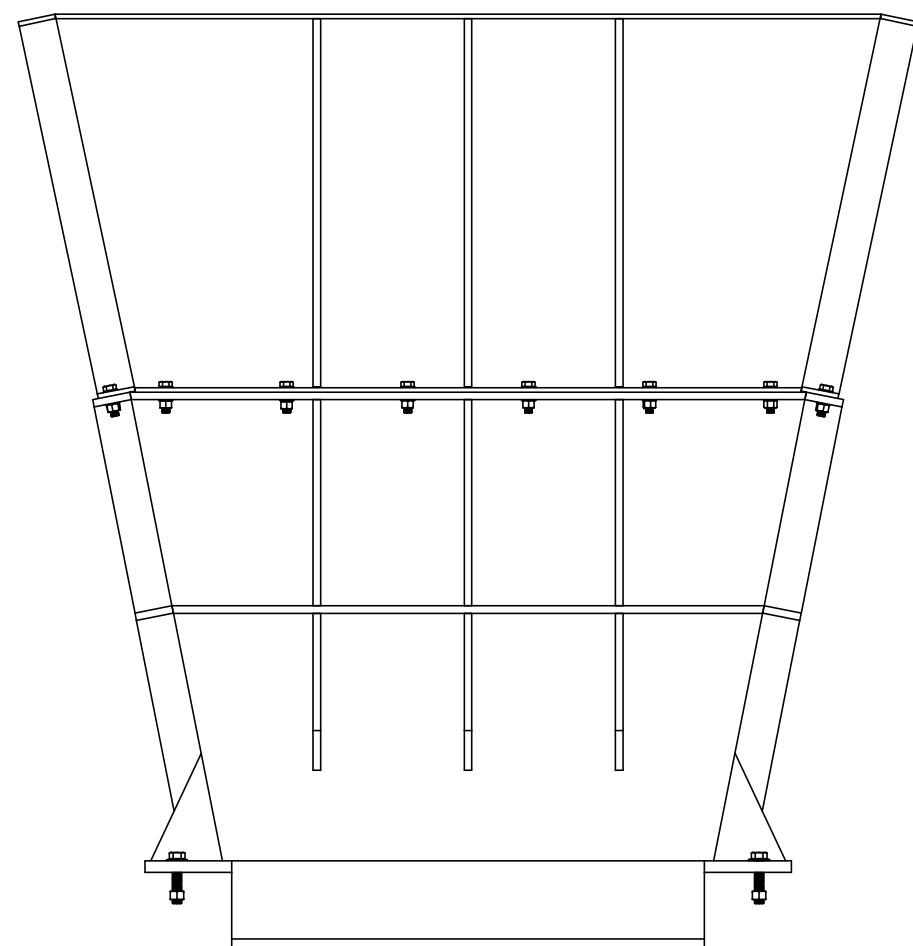
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A3

Plano Nº 104



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tolvin de entrada

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



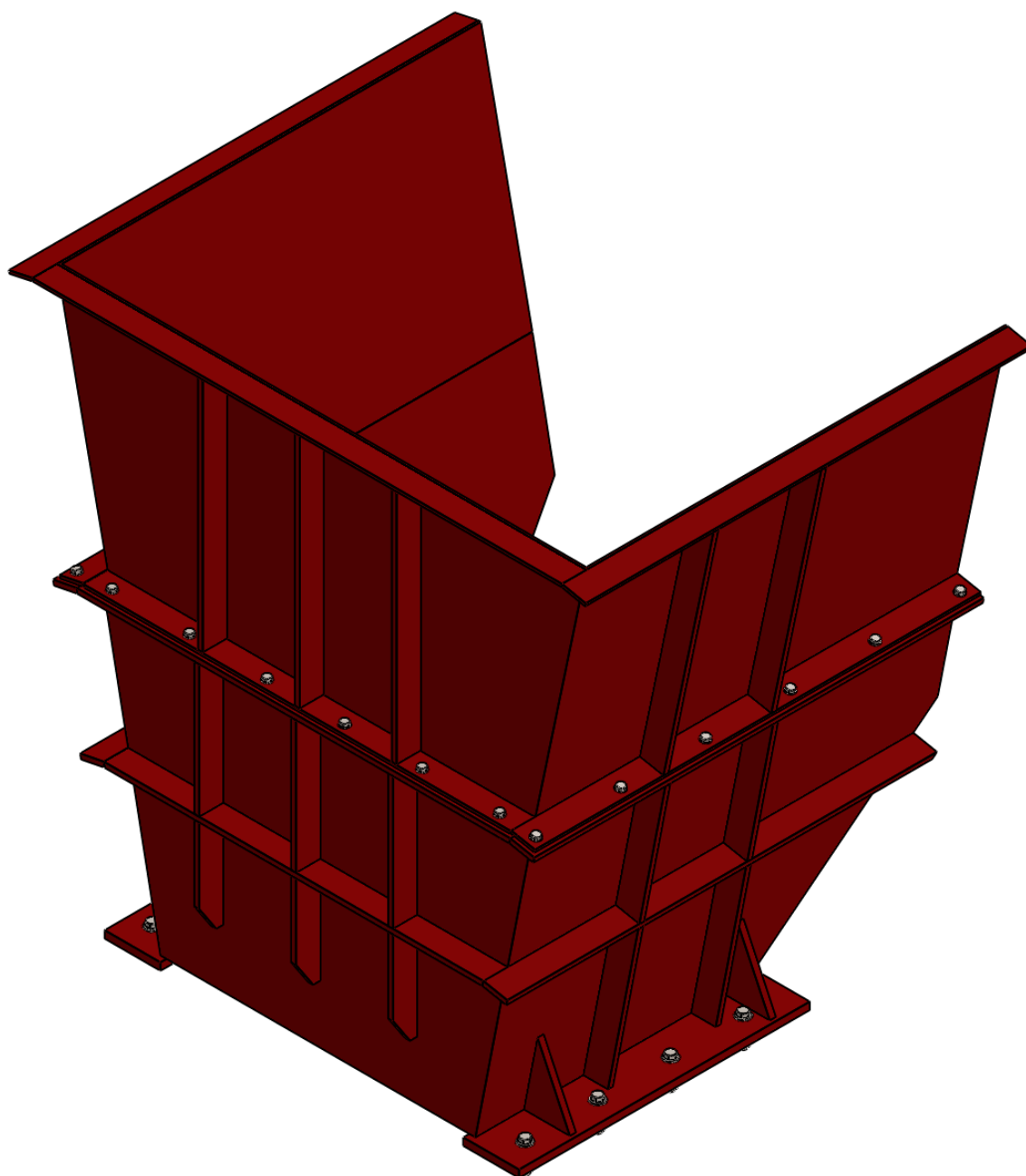
Universidad Politécnica de Cartagena



A3

Hoja Nº 312

Plano Nº 105



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tolvín de entrada 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



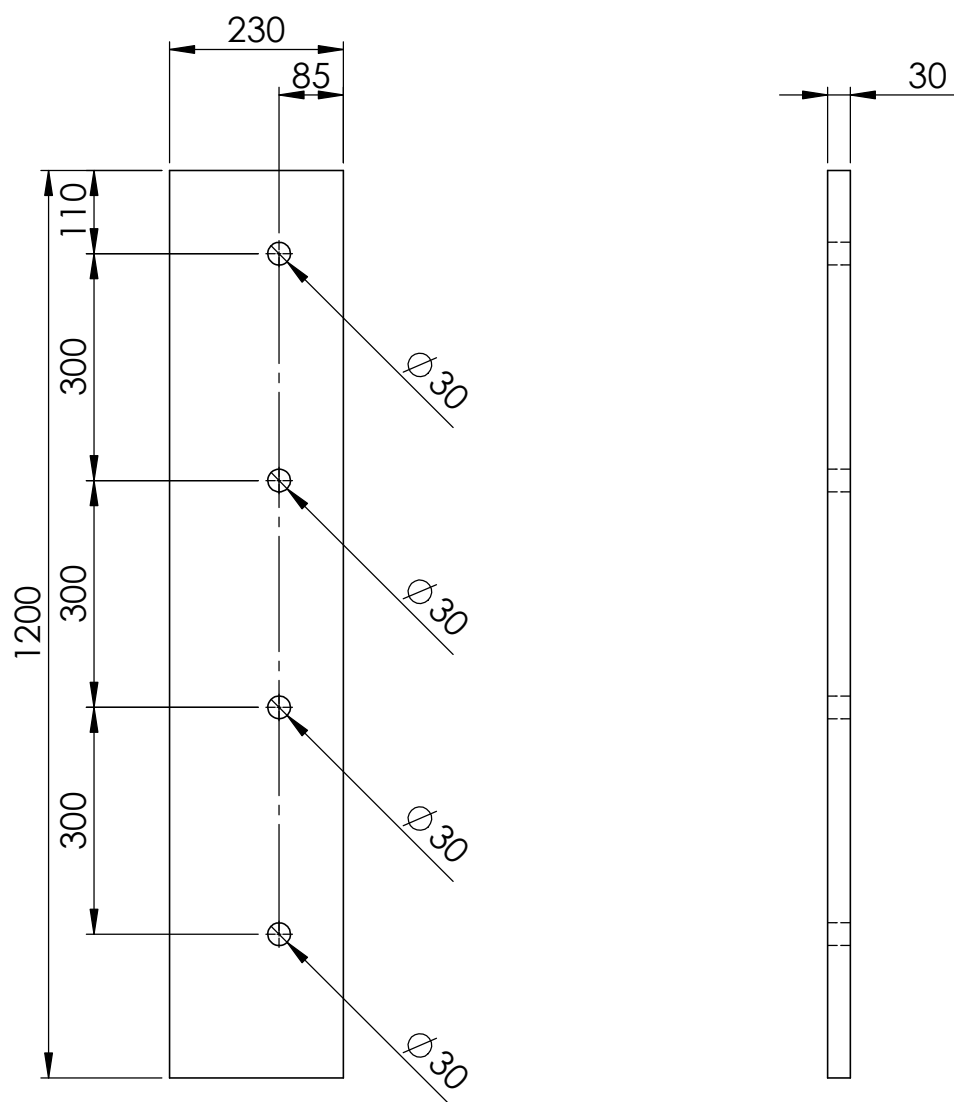
Universidad
Politécnica
de Cartagena



A4

Hoja Nº 313

Plano Nº 106



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chapa de apoyo anclaje lateral

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 314

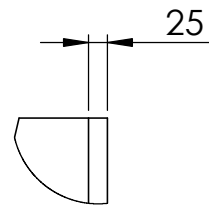
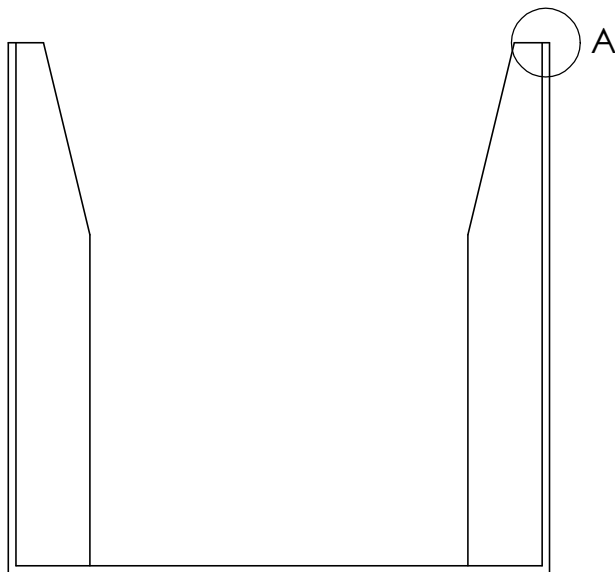
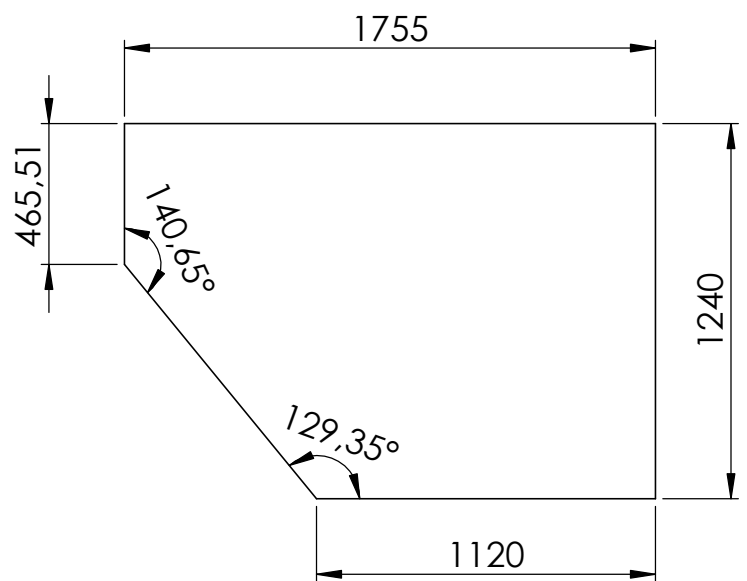
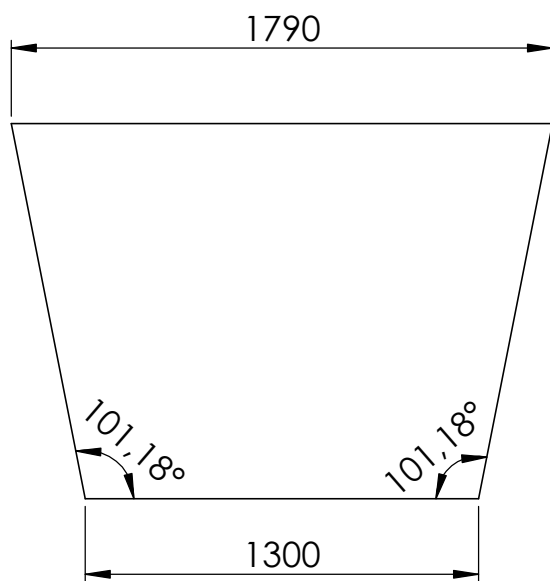
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 107



DETALLE A
ESCALA 1 : 10

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chapa inferior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:25

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 315

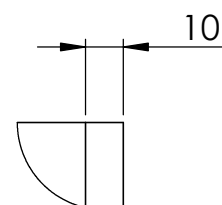
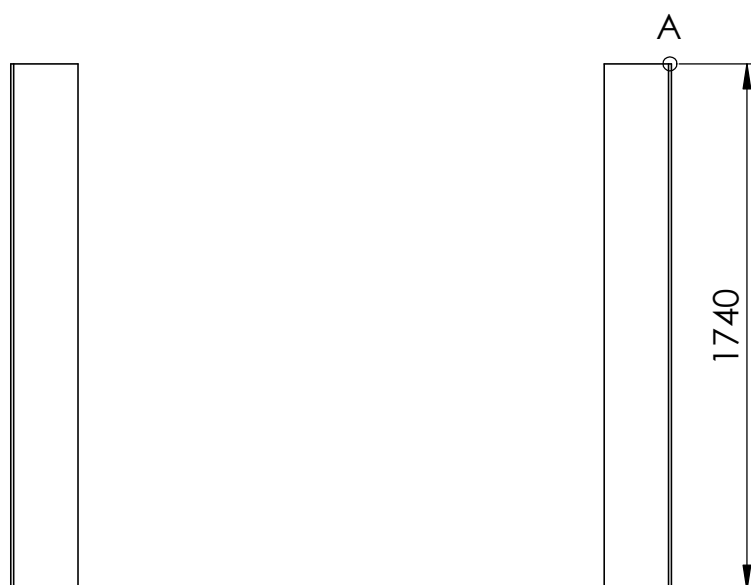
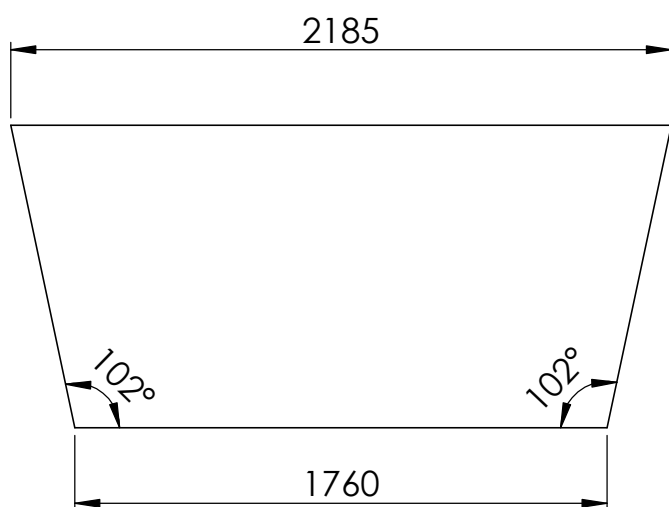
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 108



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chapa superior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:25

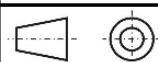
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 316

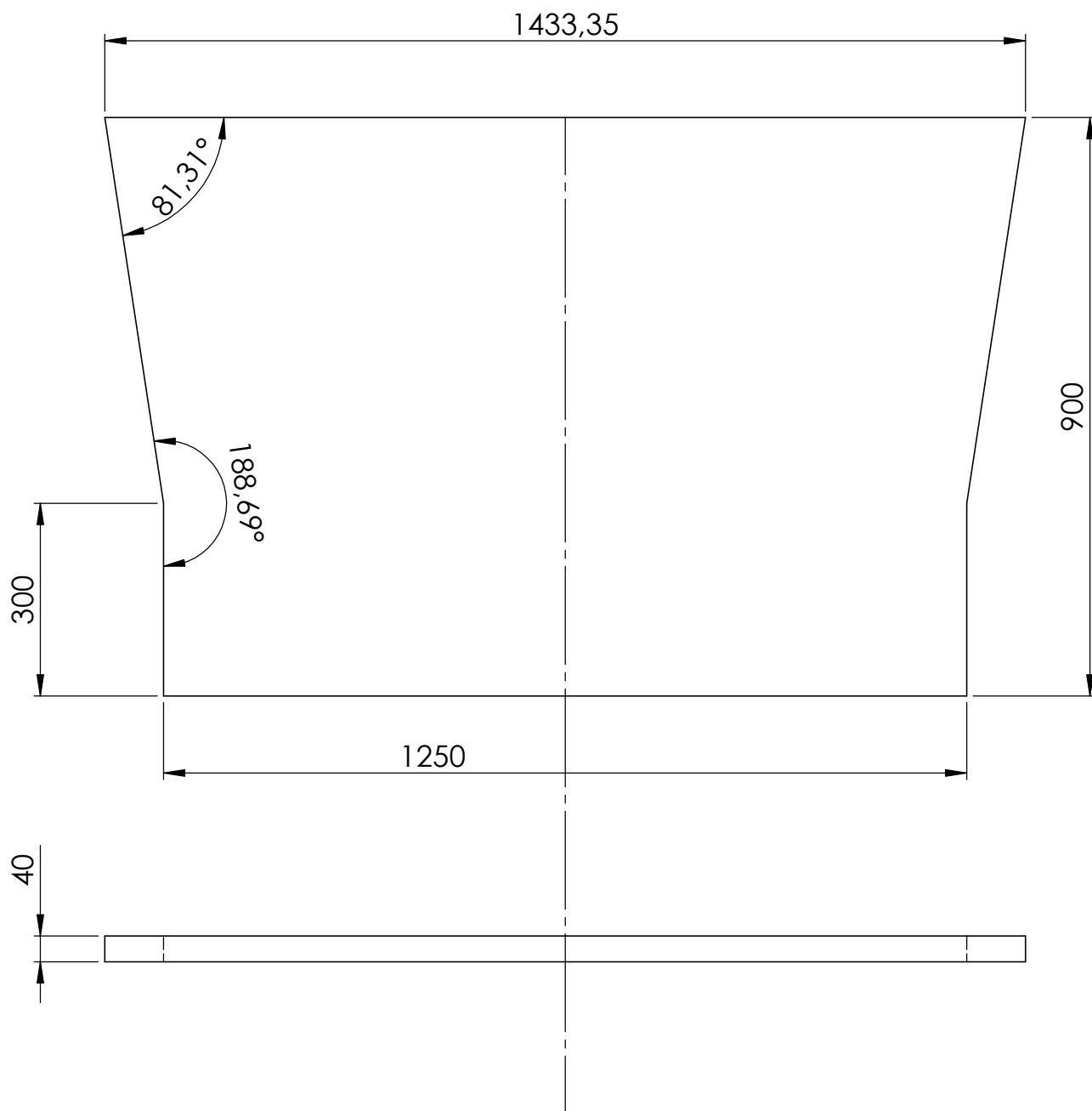
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 109



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chapa trasera

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 317

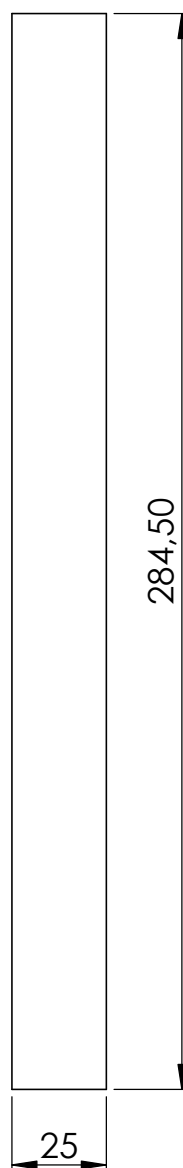
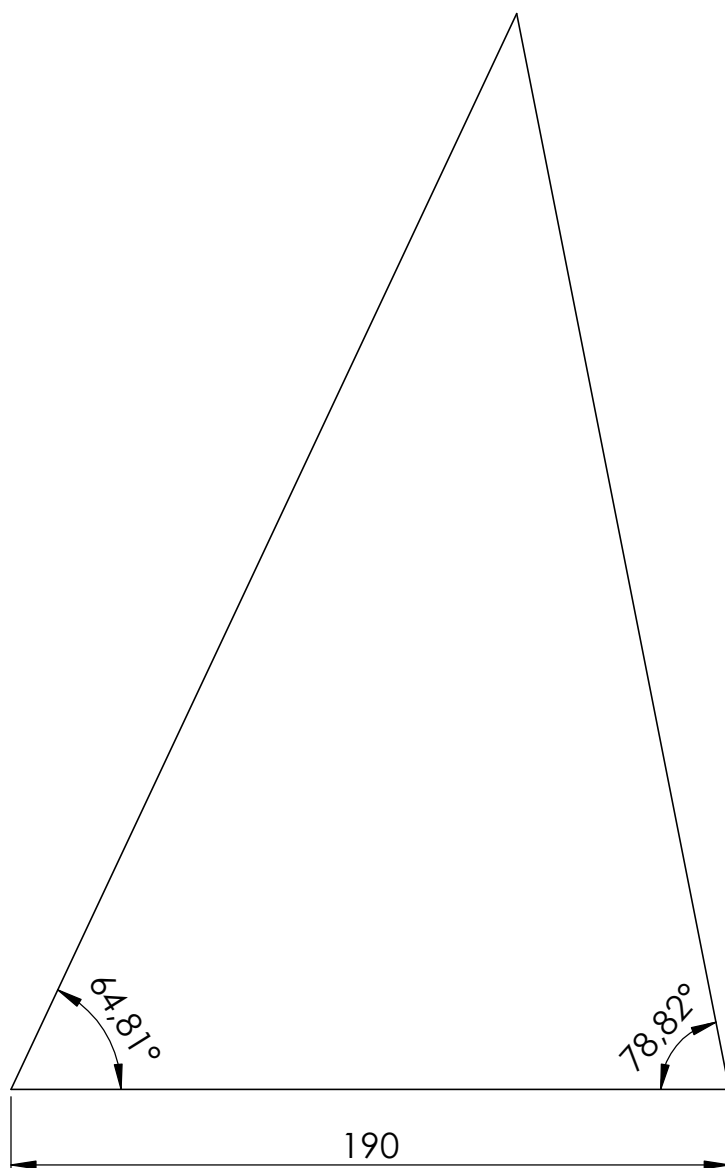
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 110



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo base chapa lateral

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

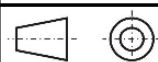
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 318

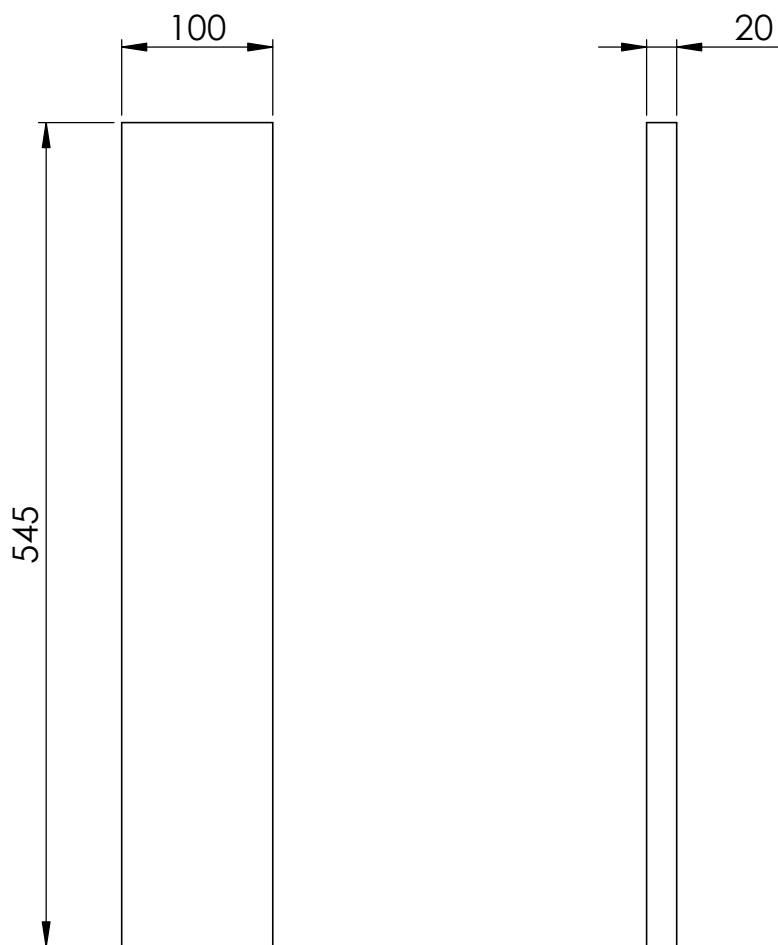
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 111



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo chapa frontal centro

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 319

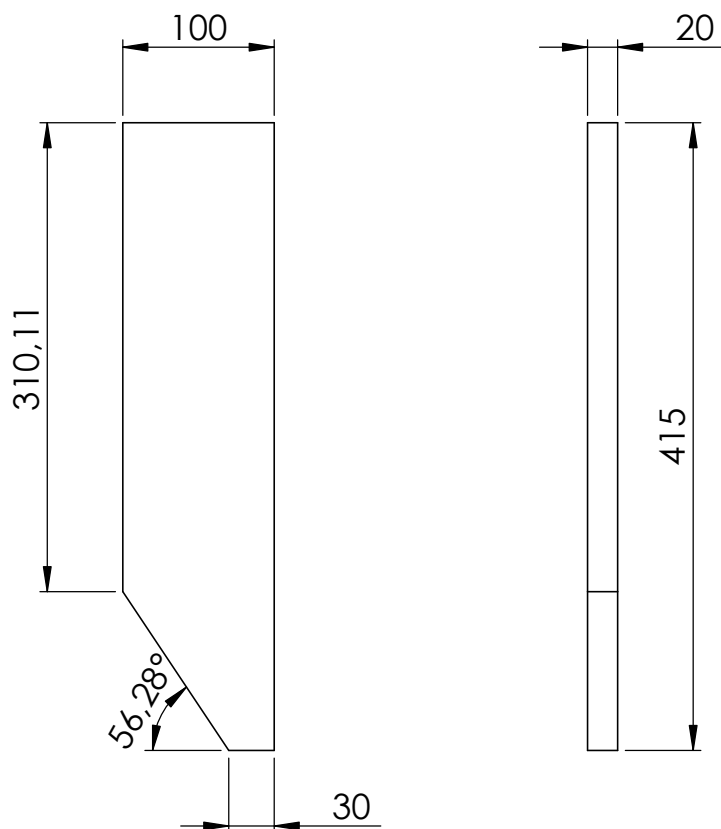
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 112



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo chapa frontal inferior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

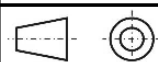
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 320

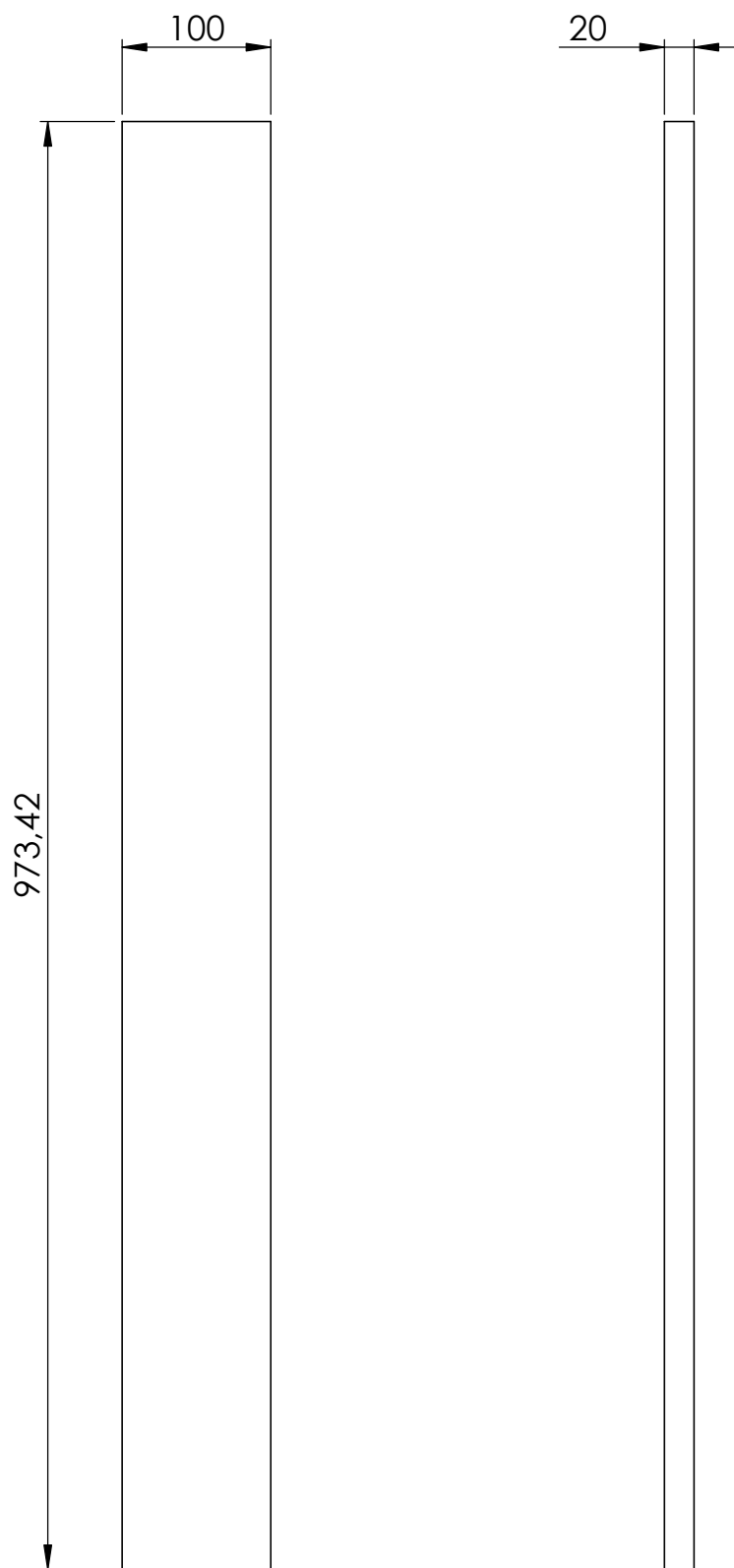
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 113



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo chapa frontal superior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 321

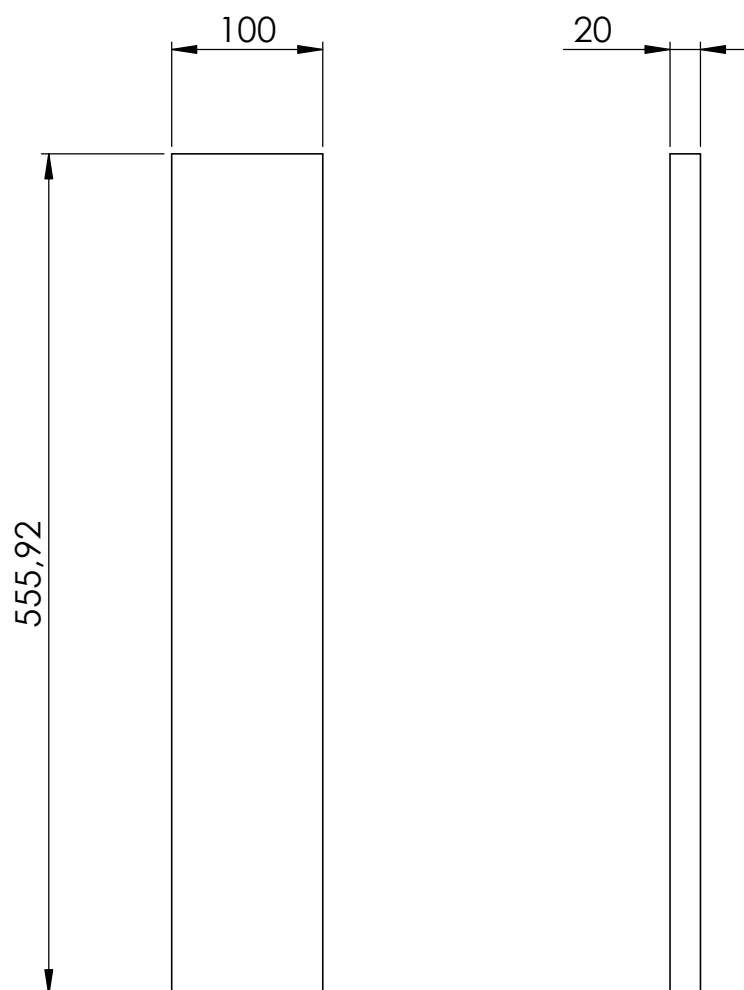
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 114



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo chapa lateral centro

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 322

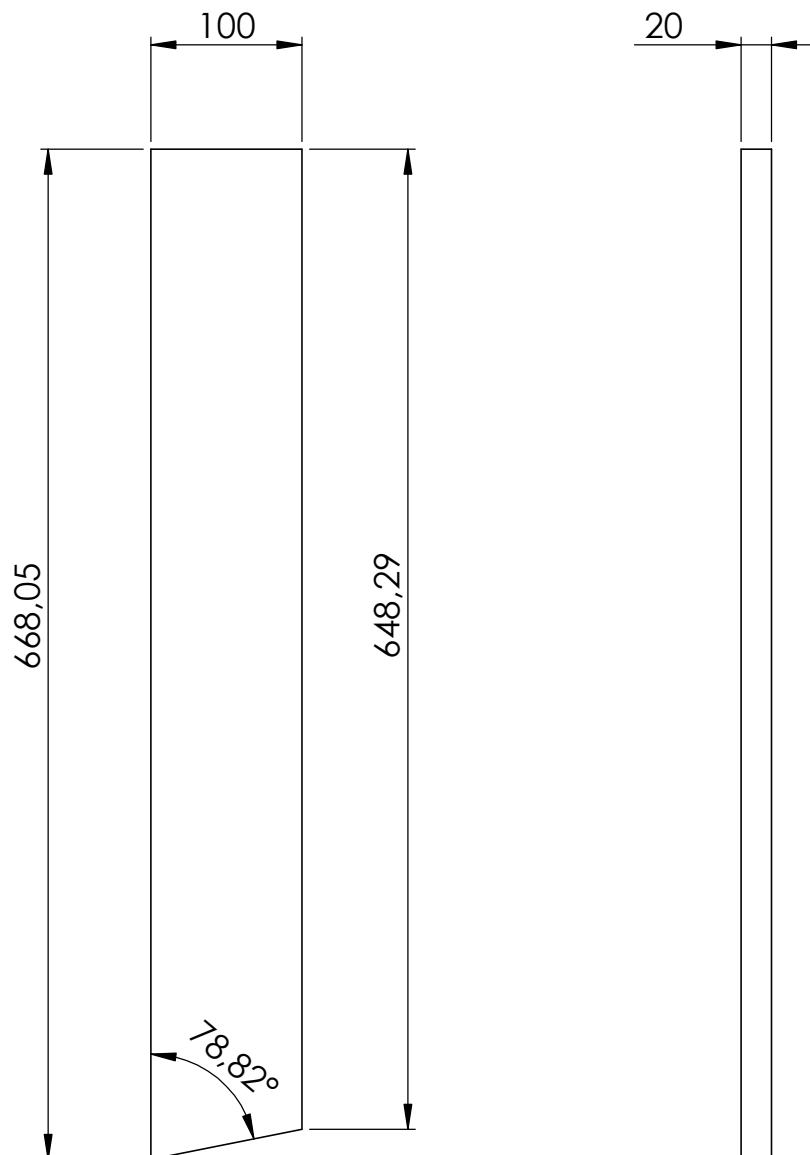
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 115



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo chapa lateral inferior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 323

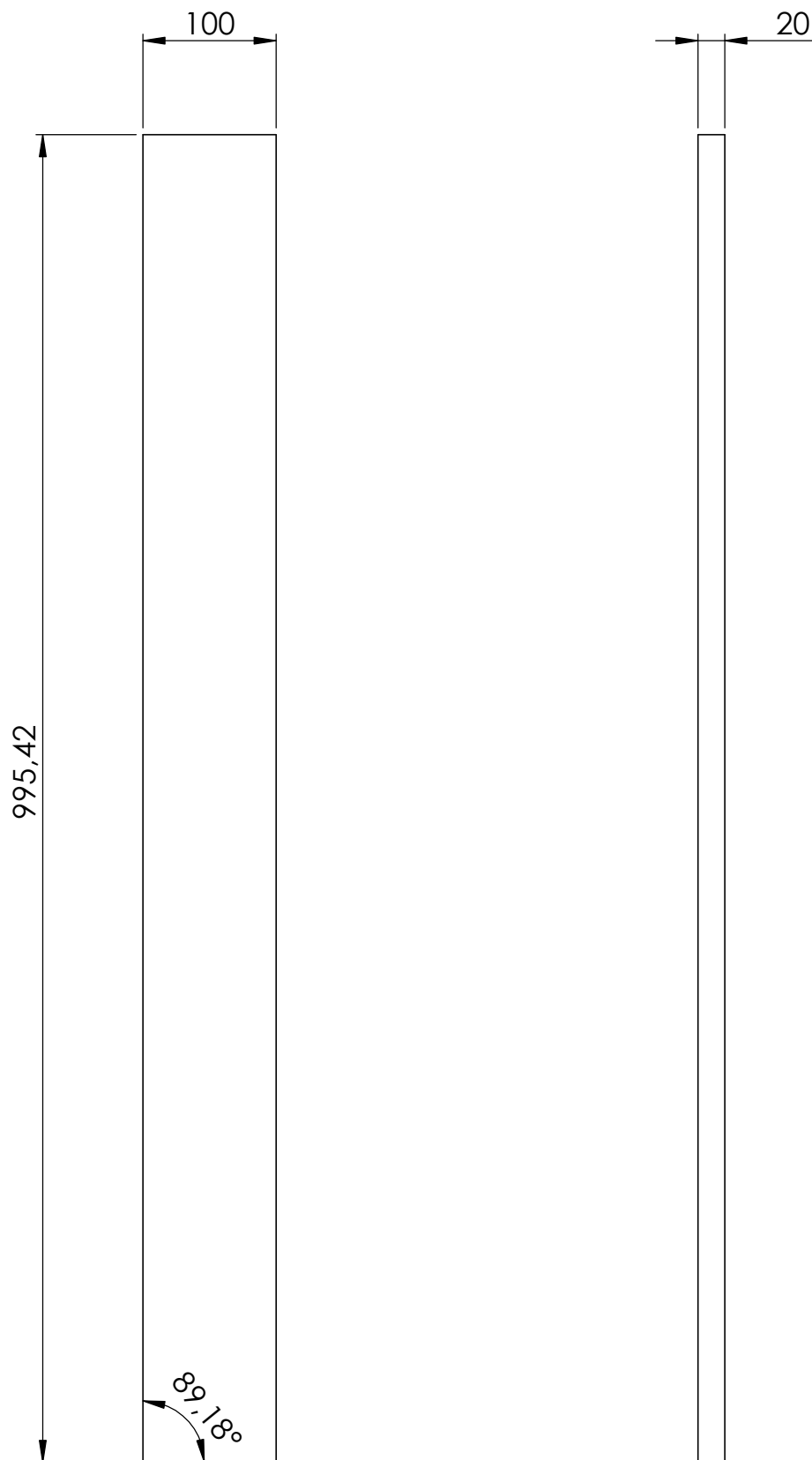
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 116



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo chapa lateral superior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 324

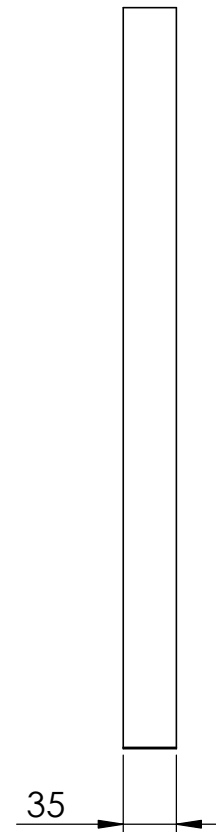
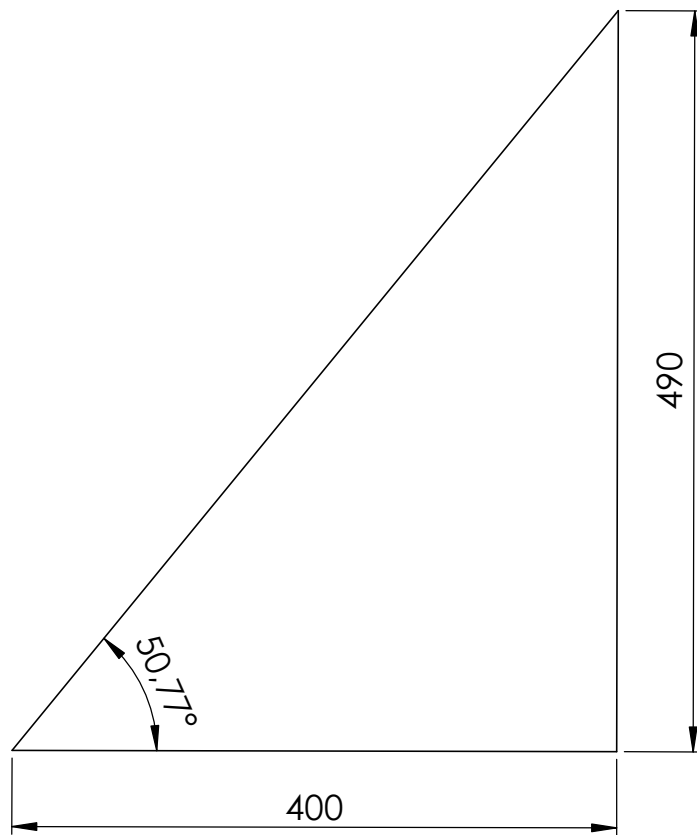
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 117



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo chapa trasera

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 325

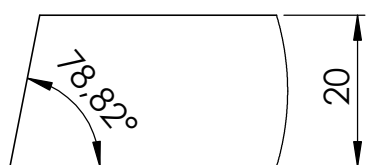
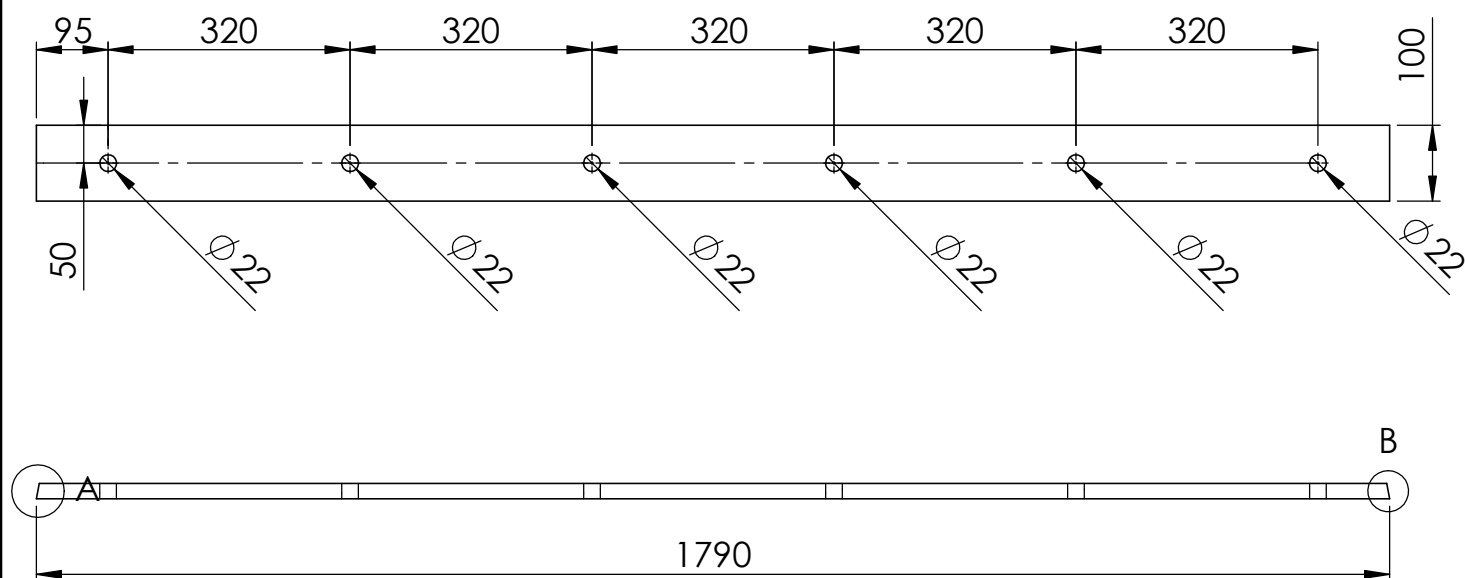
Comprobado

J.F.C.O.

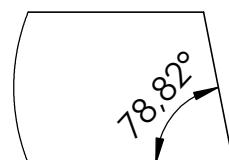
01/09/2014

A4

Plano N° 118



DETALLE A
ESCALA 1 : 1



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo ensamble chapa frontal inferior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 326

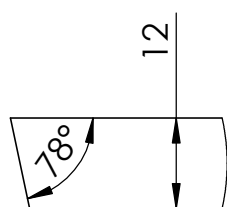
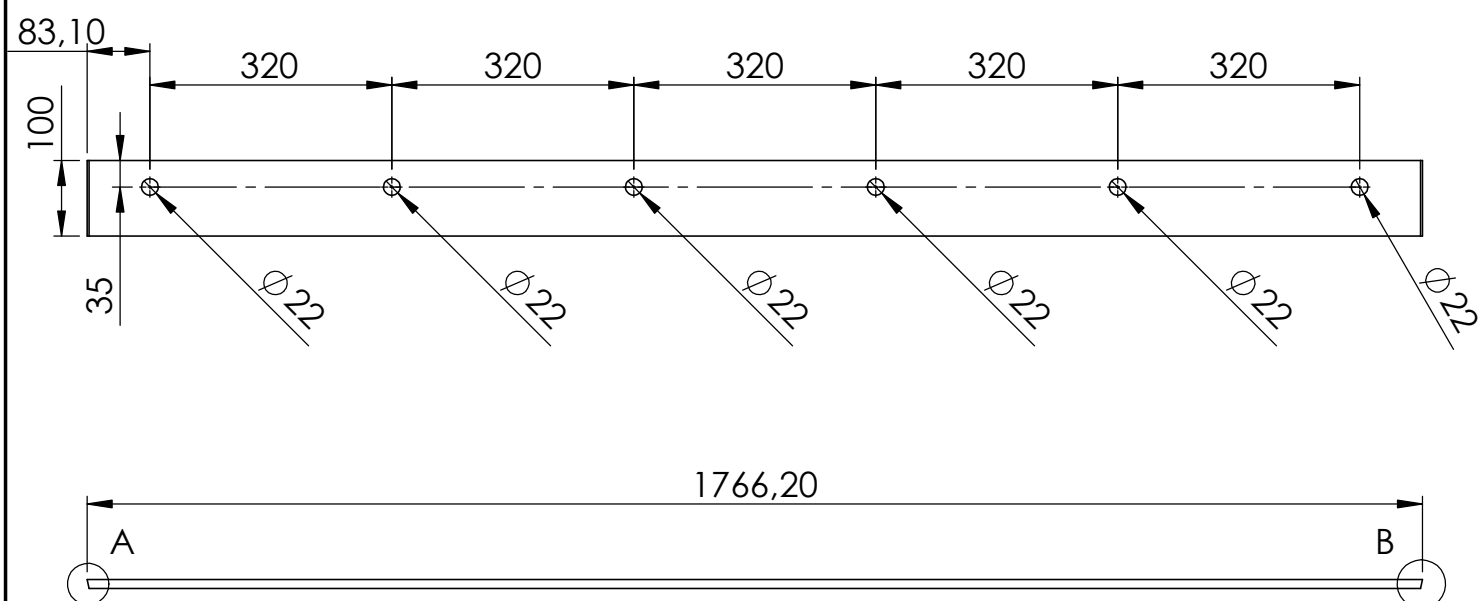
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 119



DETALLE A
ESCALA 1 : 1



DETALLE B
ESCALA 1 : 1

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo ensamble chapa frontal superior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 327

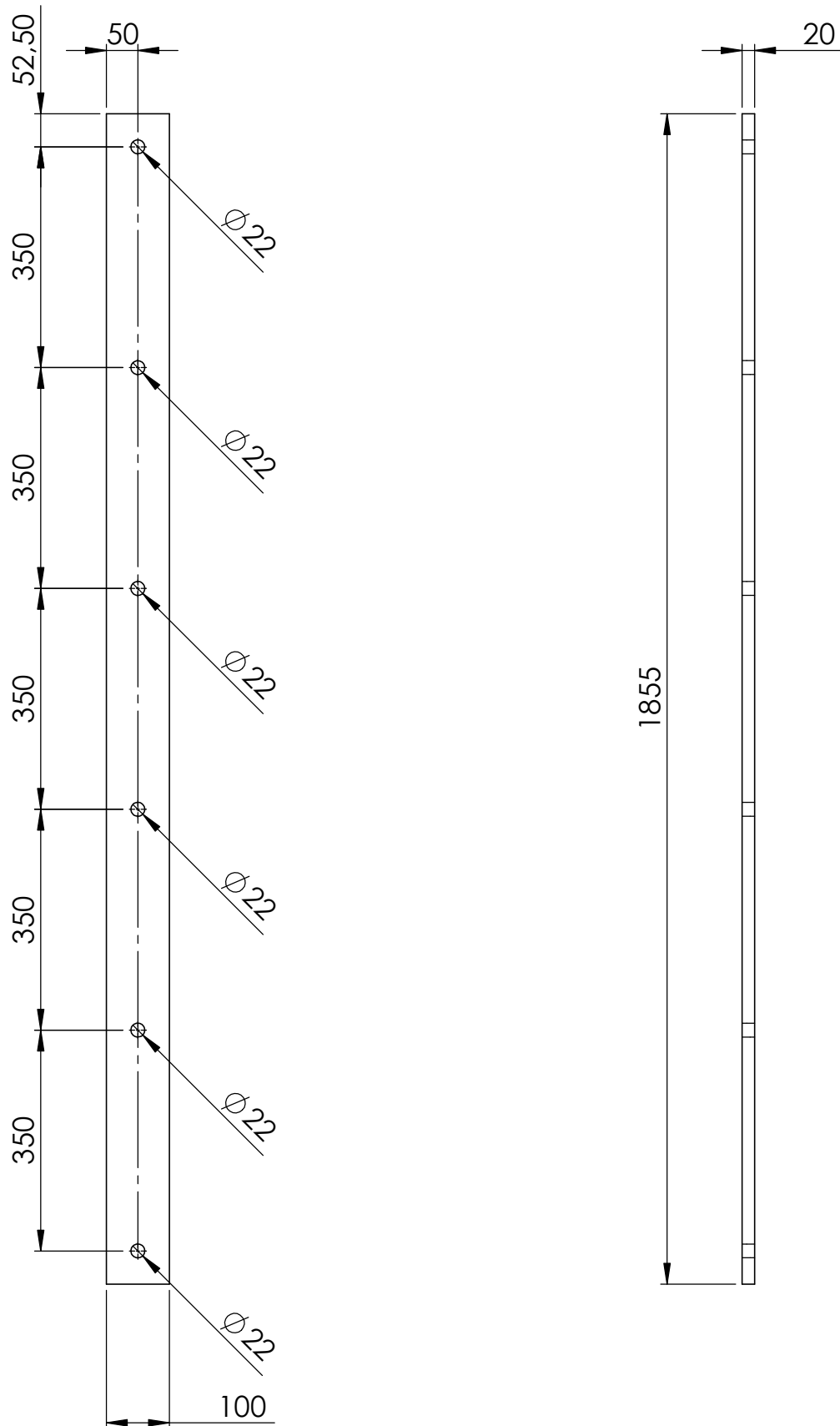
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 120



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo ensamble lateral inferior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

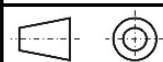
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 328

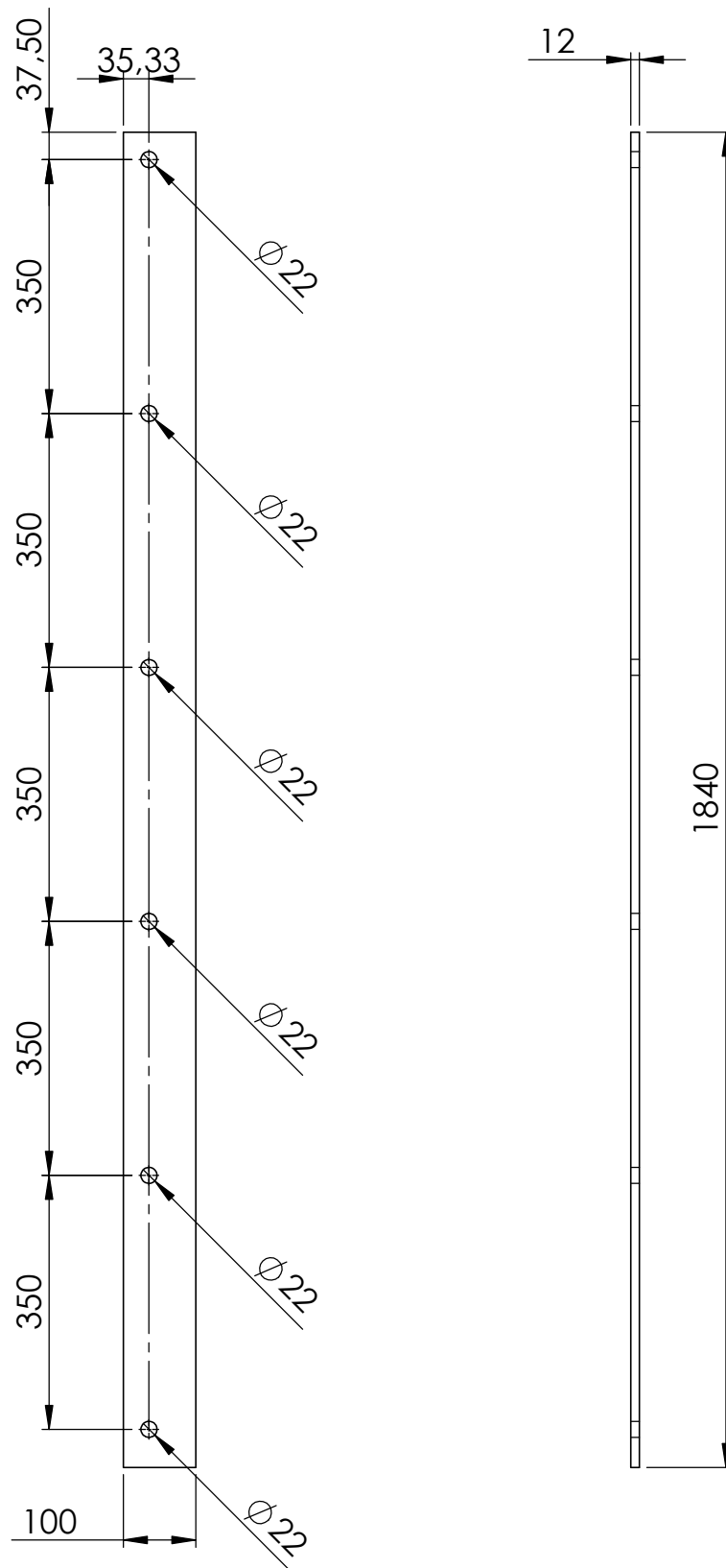
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 121



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo ensamble chapa lateral superior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 329

Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 122

2185

12

100

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo frontal borde superior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 330

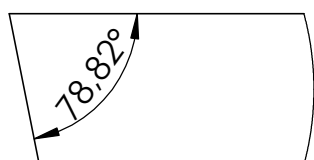
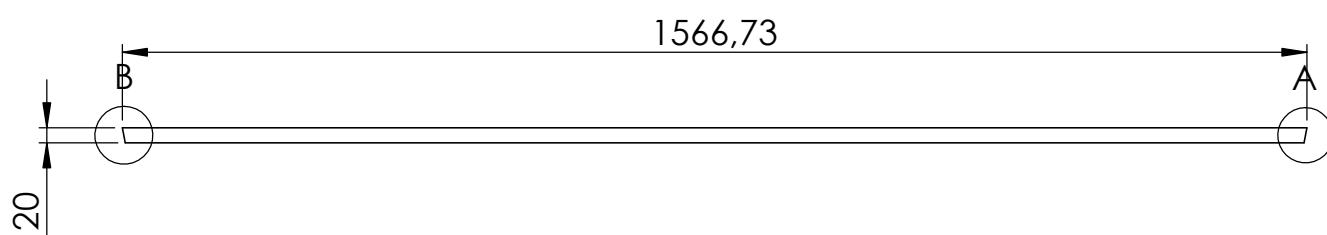
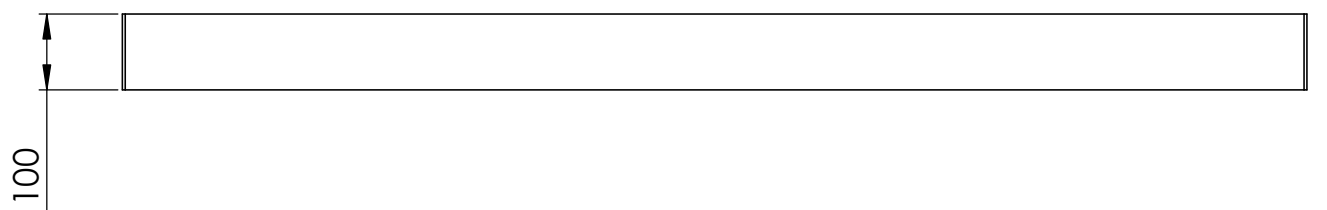
Comprobado

J.F.C.O.

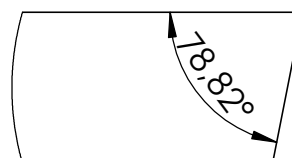
01/09/2014

A4

Plano N° 123



DETALLE B
ESCALA 1 : 1



DETALLE A
ESCALA 1 : 1

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo inferior chapa frontal

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 331

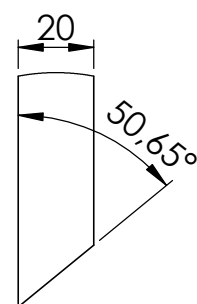
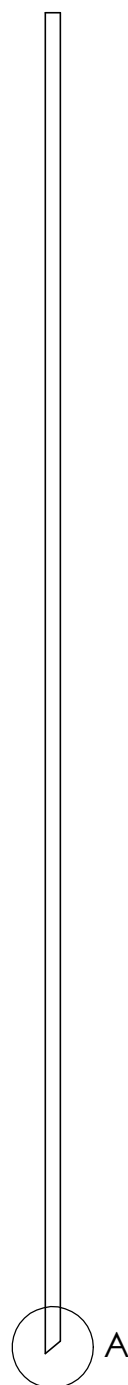
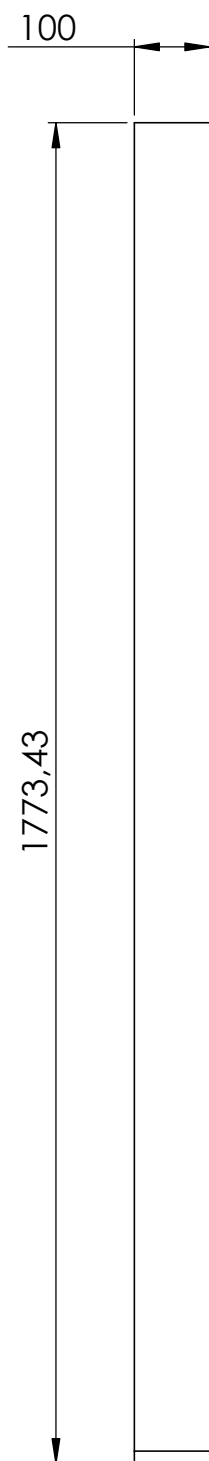
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 124



DETALLE A
ESCALA 1 : 2

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo inferior chapa lateral

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 332

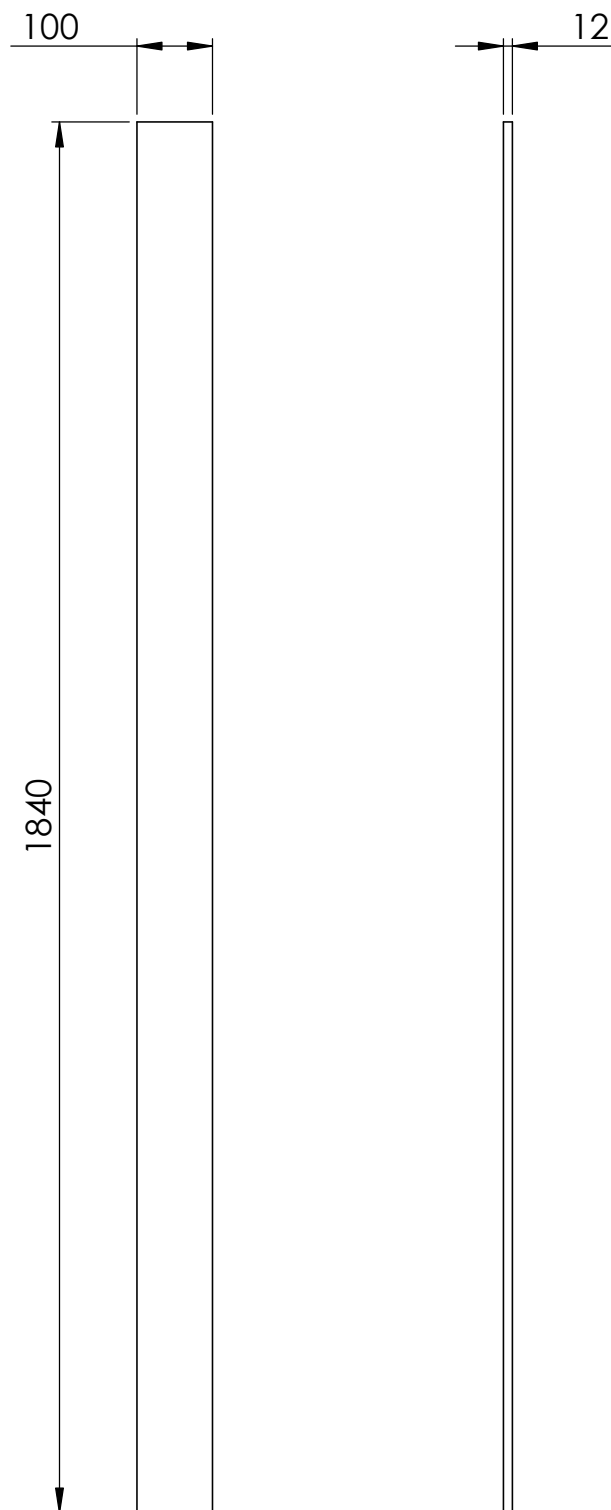
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 125



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Refuerzo lateral borde superior

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 333

Comprobado

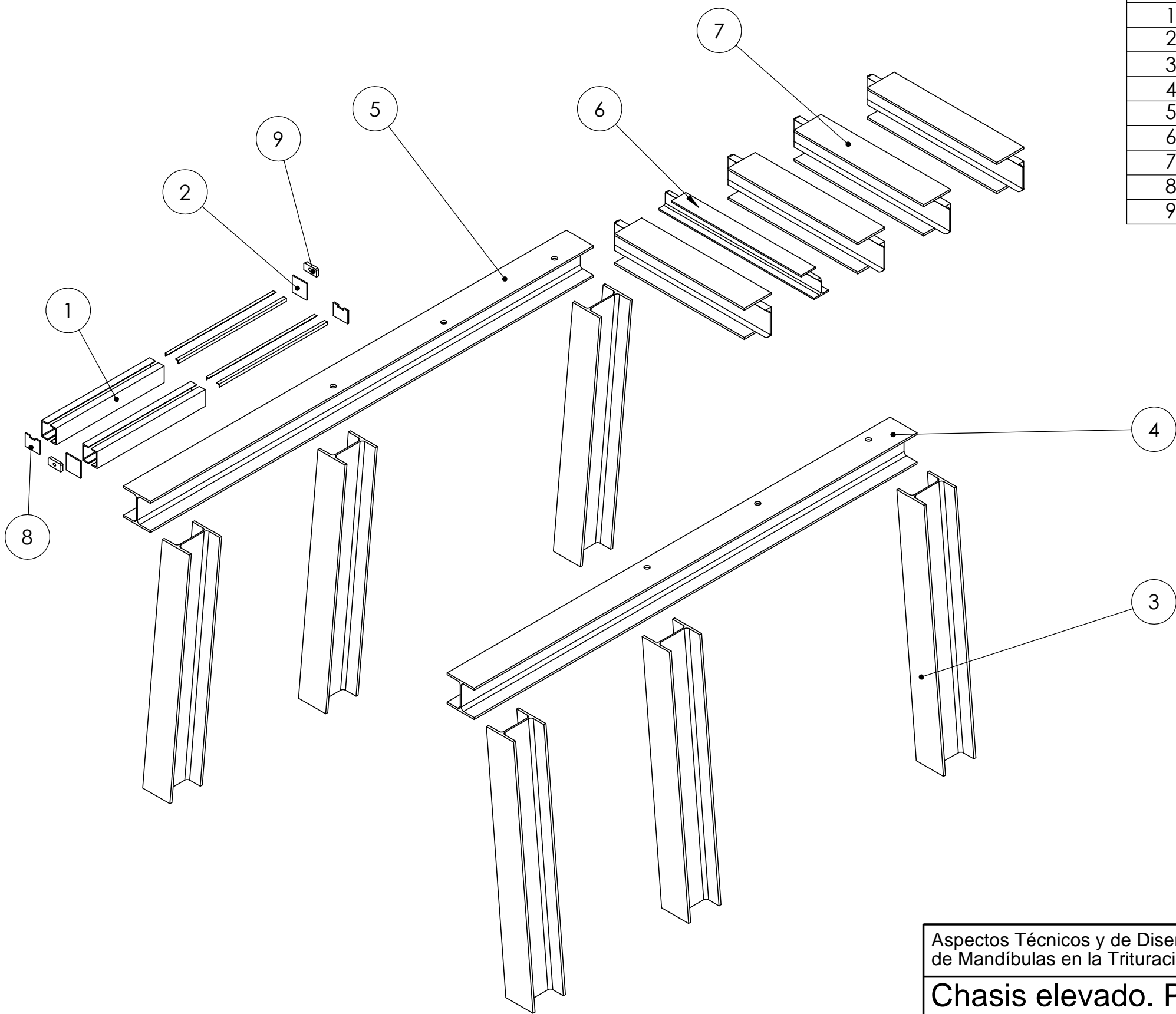
J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 126

Nº	Pieza	Cantidad
1	Carril sistema tensor	4
2	Chapa de fondo sistema tensor	2
3	HEB 2905	6
4	HEB 4920 der	1
5	HEB 4920 izq	1
6	Larguero 1729 E	1
7	Larguero 1729	4
8	Tope inferior sistema tensor	2
9	Tope superior sistema tensor	2



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chasis elevado. Piezas

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

Escala 1:35

Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014



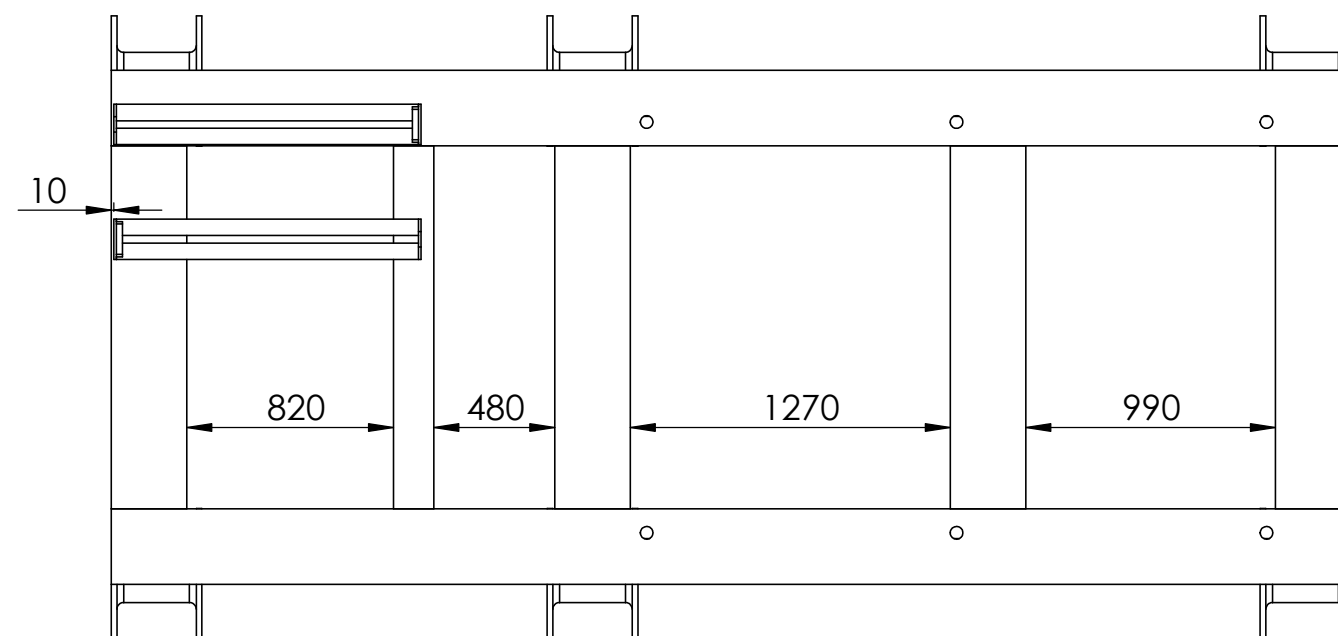
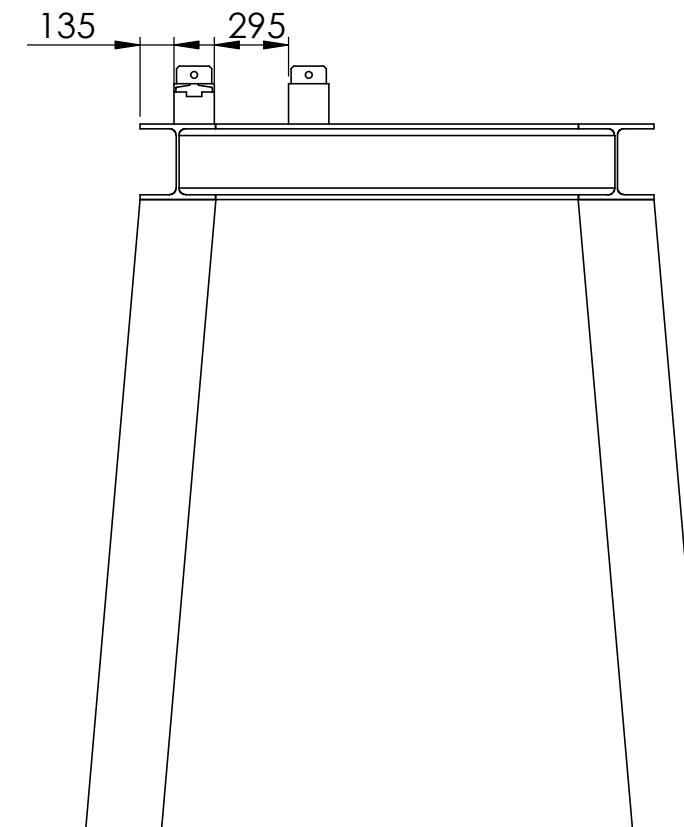
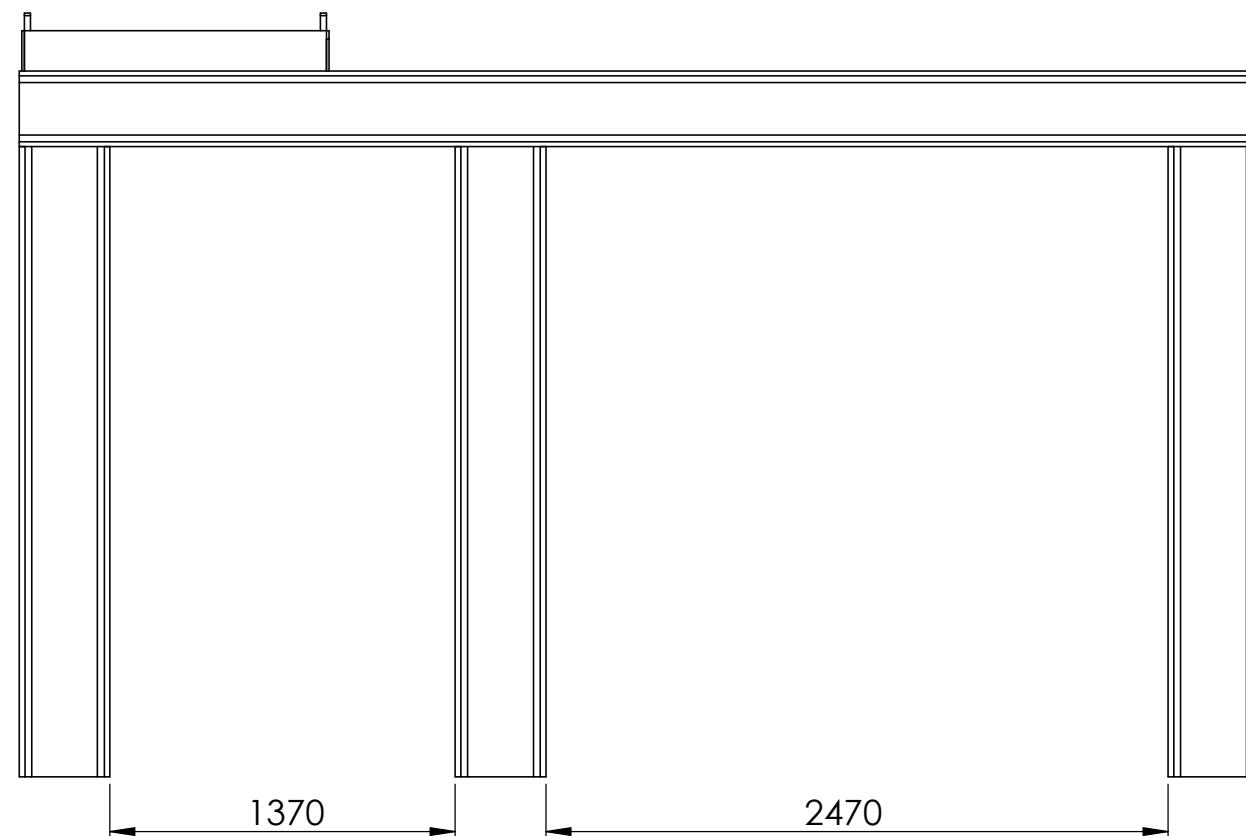
Universidad
Politécnica
de Cartagena






Hoja Nº 334

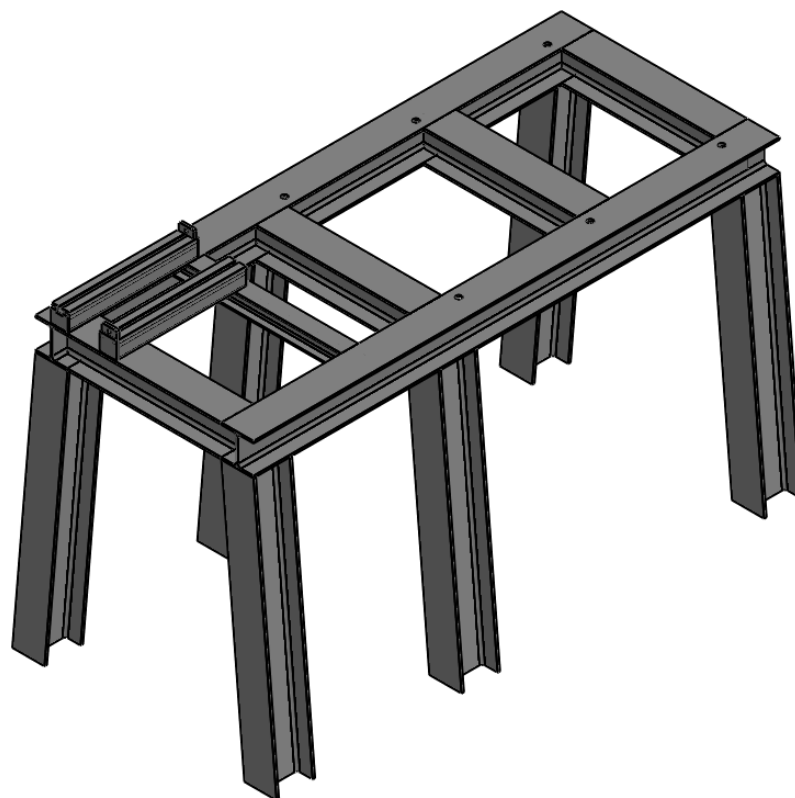
A3

Plano Nº 127



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chasis elevado				José Francisco Carpena Ortega - UPCT	
				Escala	1:30
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena	 	Hoja Nº 335
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3	Plano Nº 128



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chasis elevado. Vista 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:50

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 336

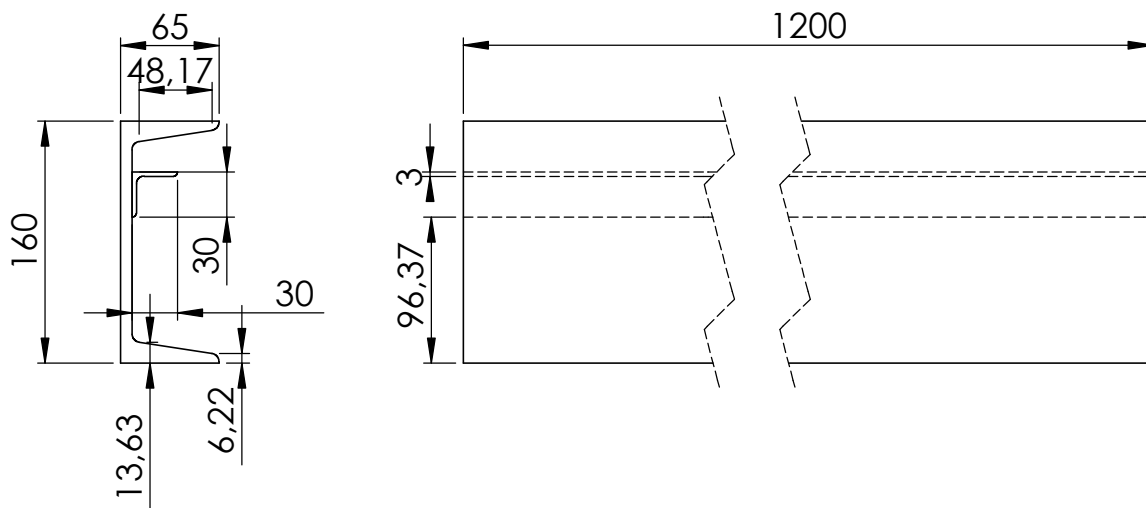
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 129



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Carril sistema tensor

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

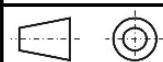
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 337

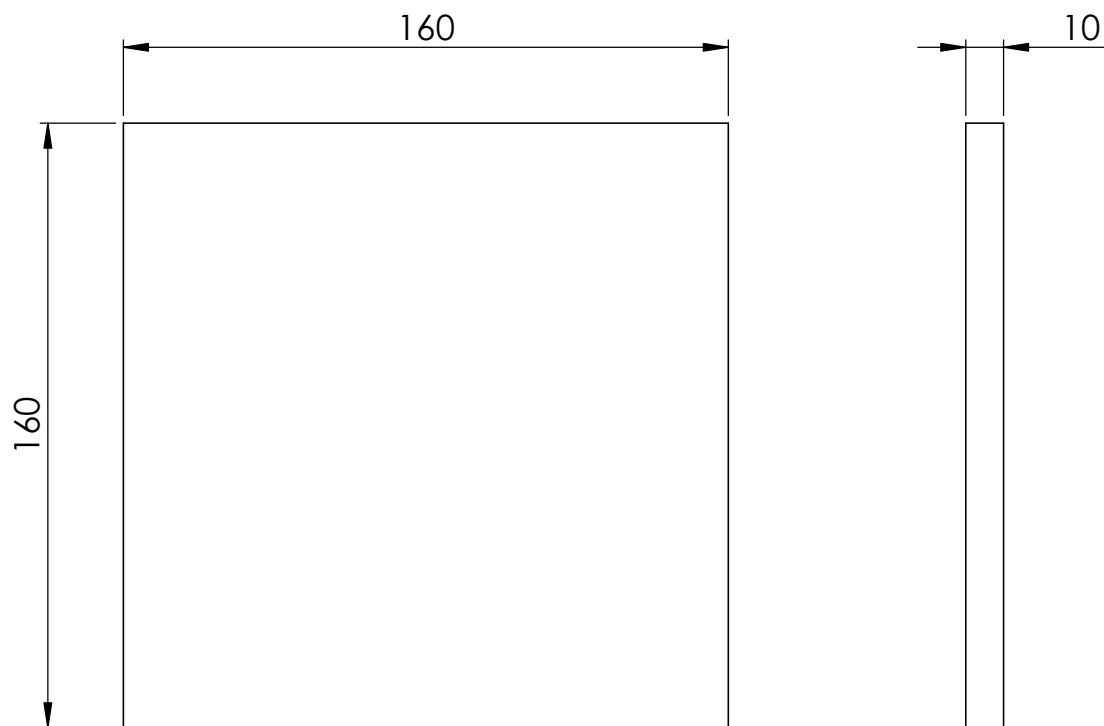
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 130



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Chapa fondo sistema tensor

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 338

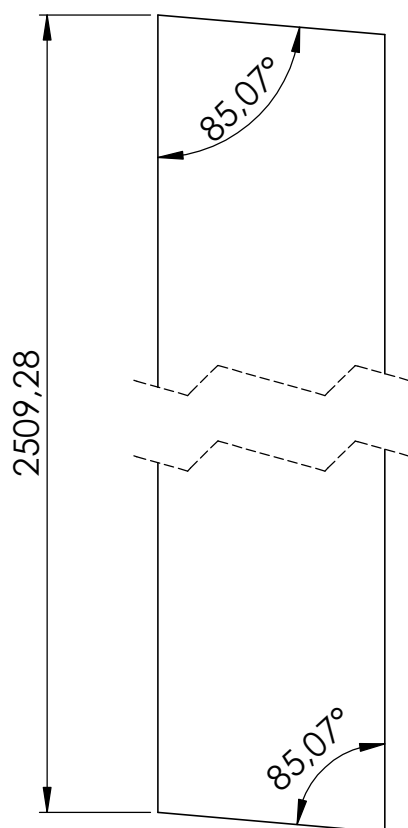
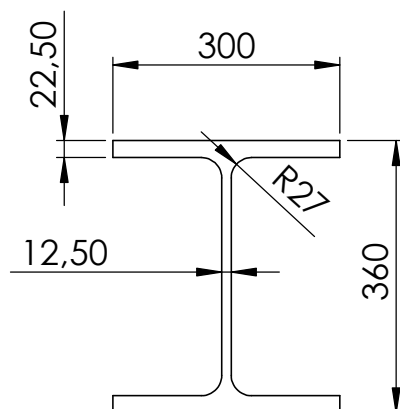
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 131



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

HEB 2509

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

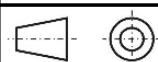
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 339

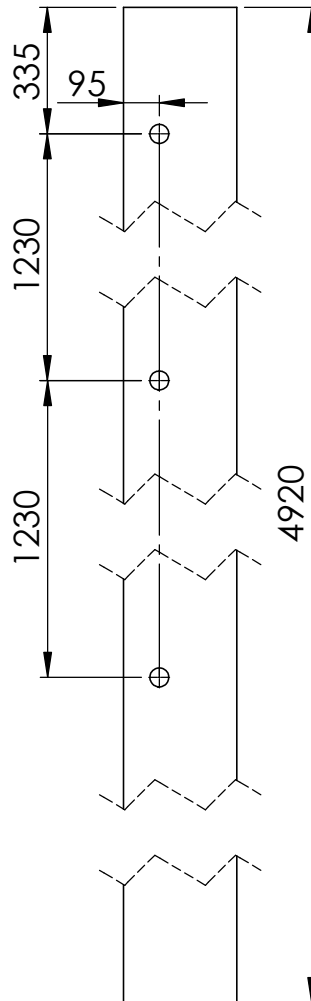
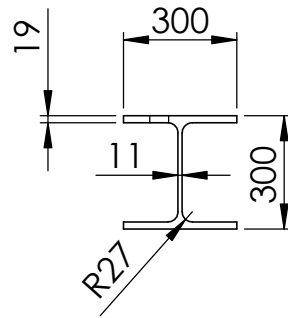
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 132



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

HEB 4920 der

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

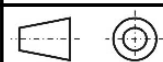
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 340

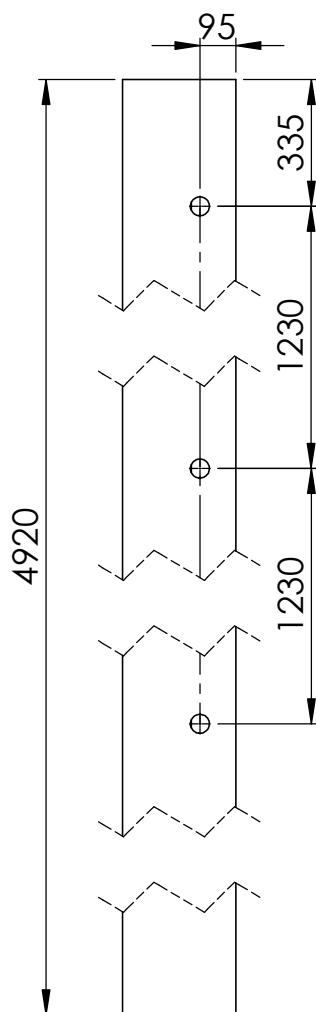
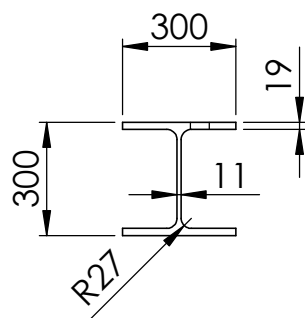
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 133



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

HEB 4920 izq

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:20

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 341

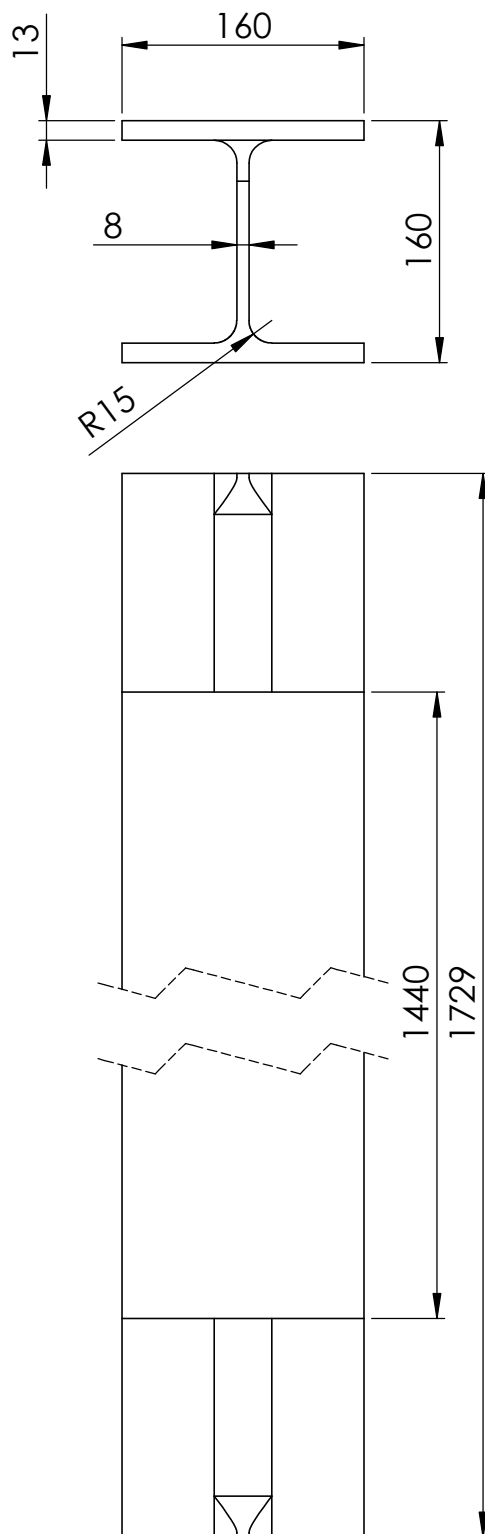
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 134



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Larguero 1729 E

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:5

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja Nº 342

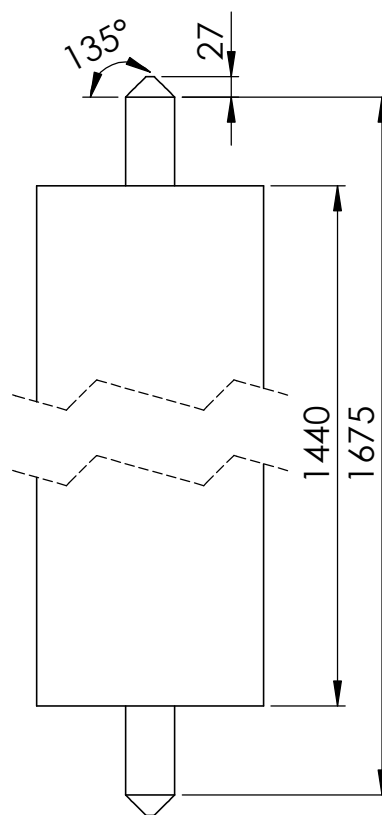
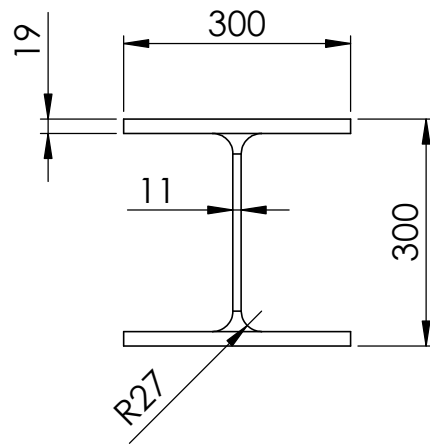
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano Nº 135



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Larguero 1729

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:10

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 343

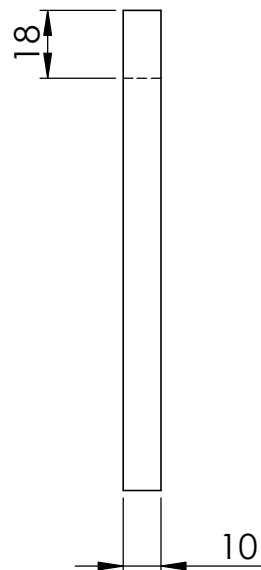
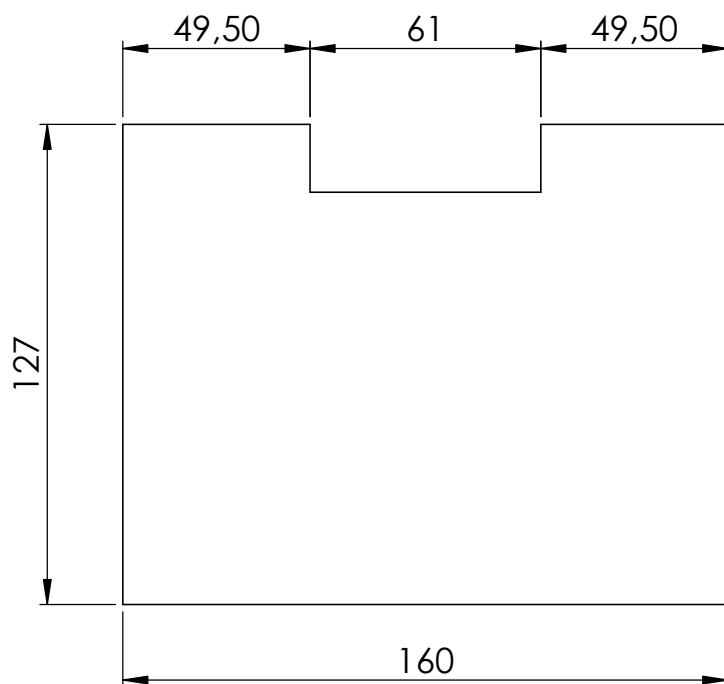
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 136



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tope inferior sistema tensor

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:2

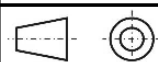
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 344

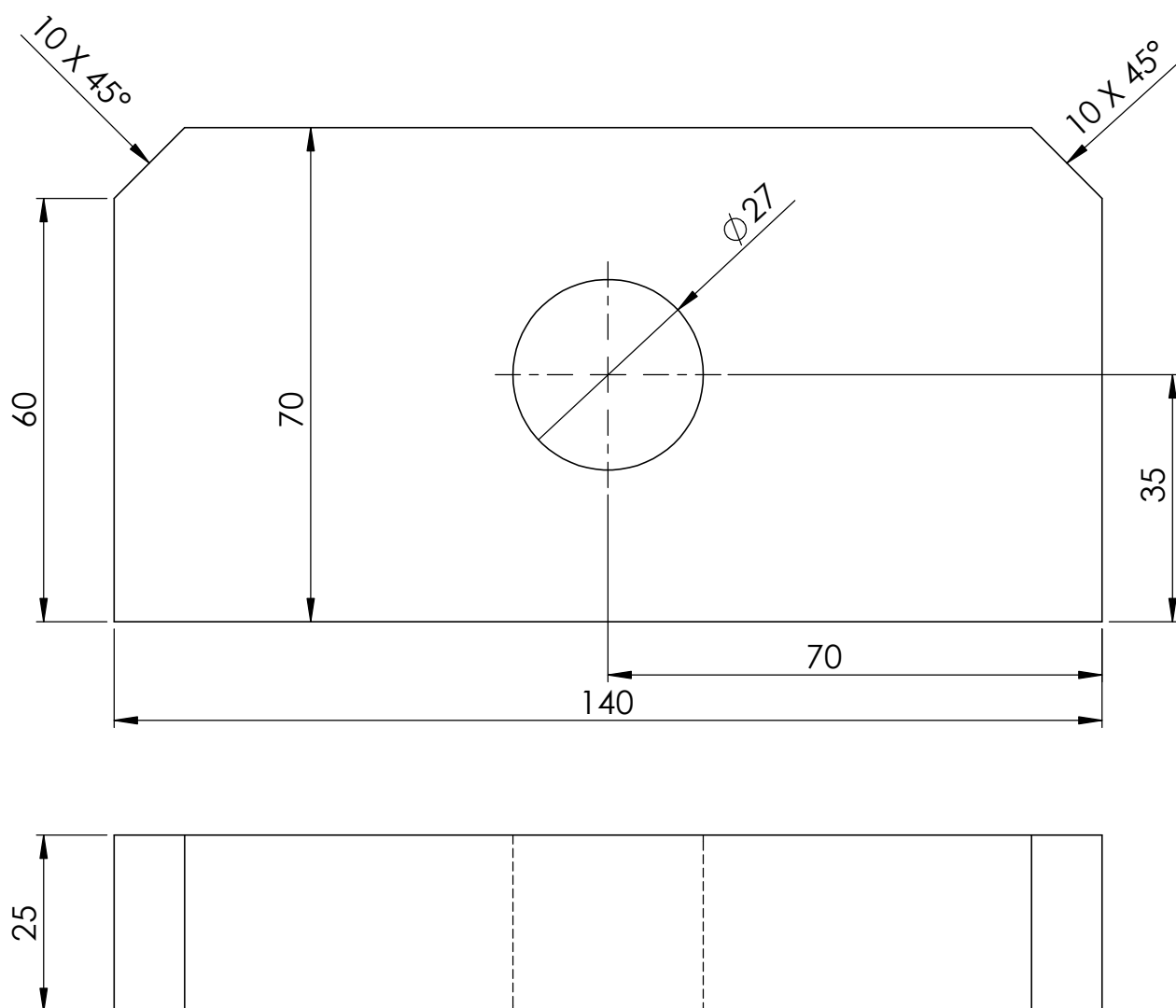
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 137



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tope superior sistema tensor

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:1

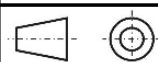
Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 345

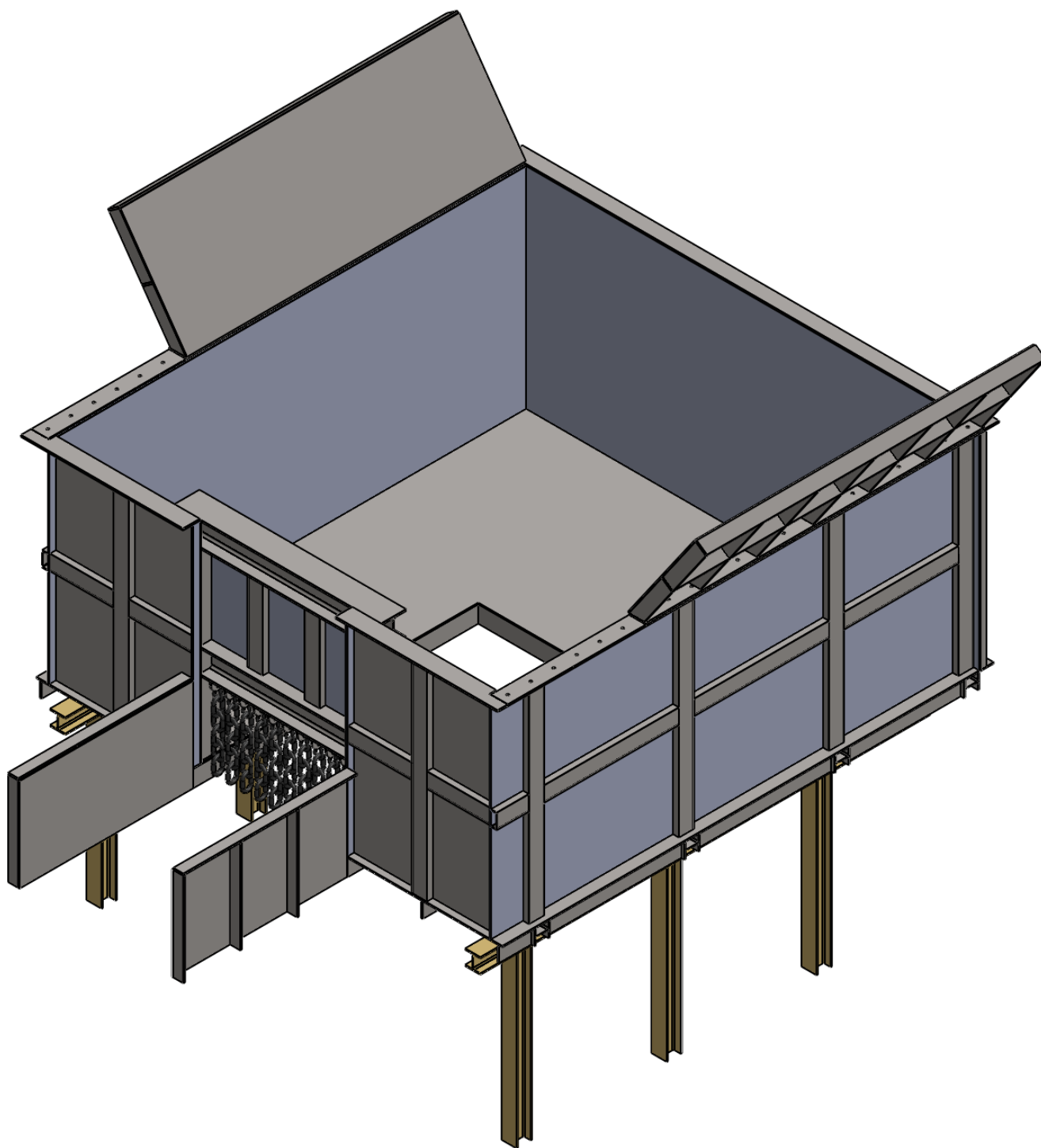
Comprobado

J.F.C.O.

01/09/2014

A4

Plano N° 138



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Tolva 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:50

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



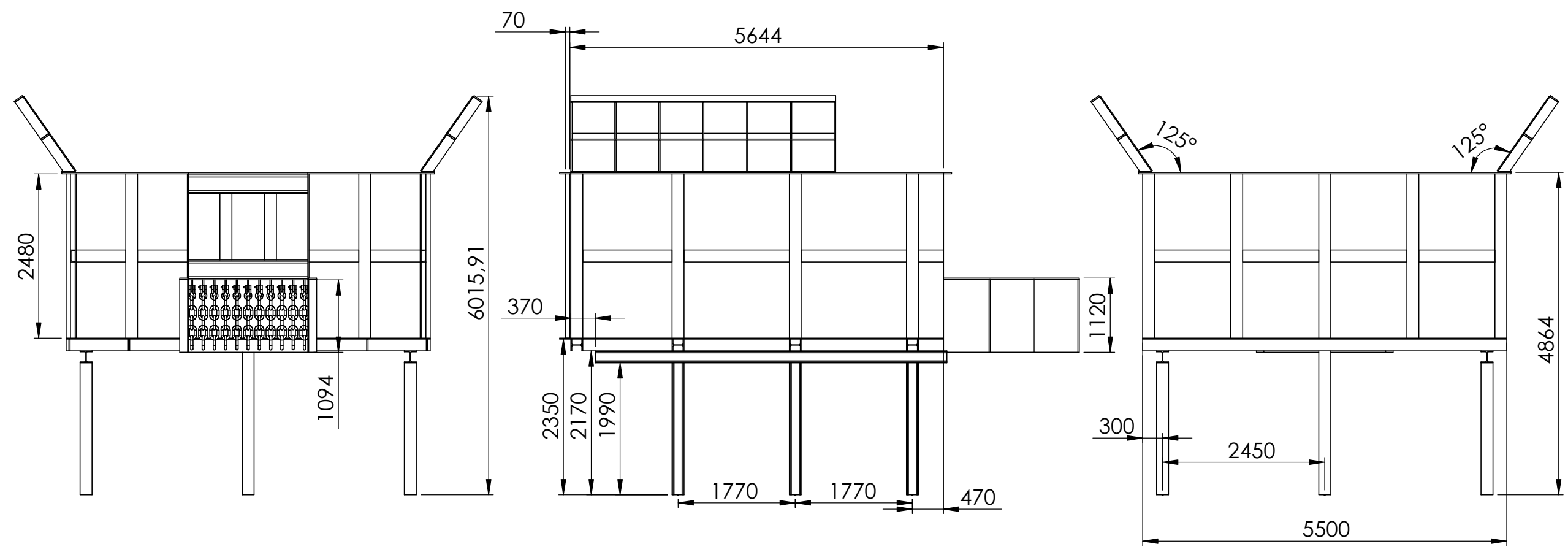
Universidad
Politécnica
de Cartagena



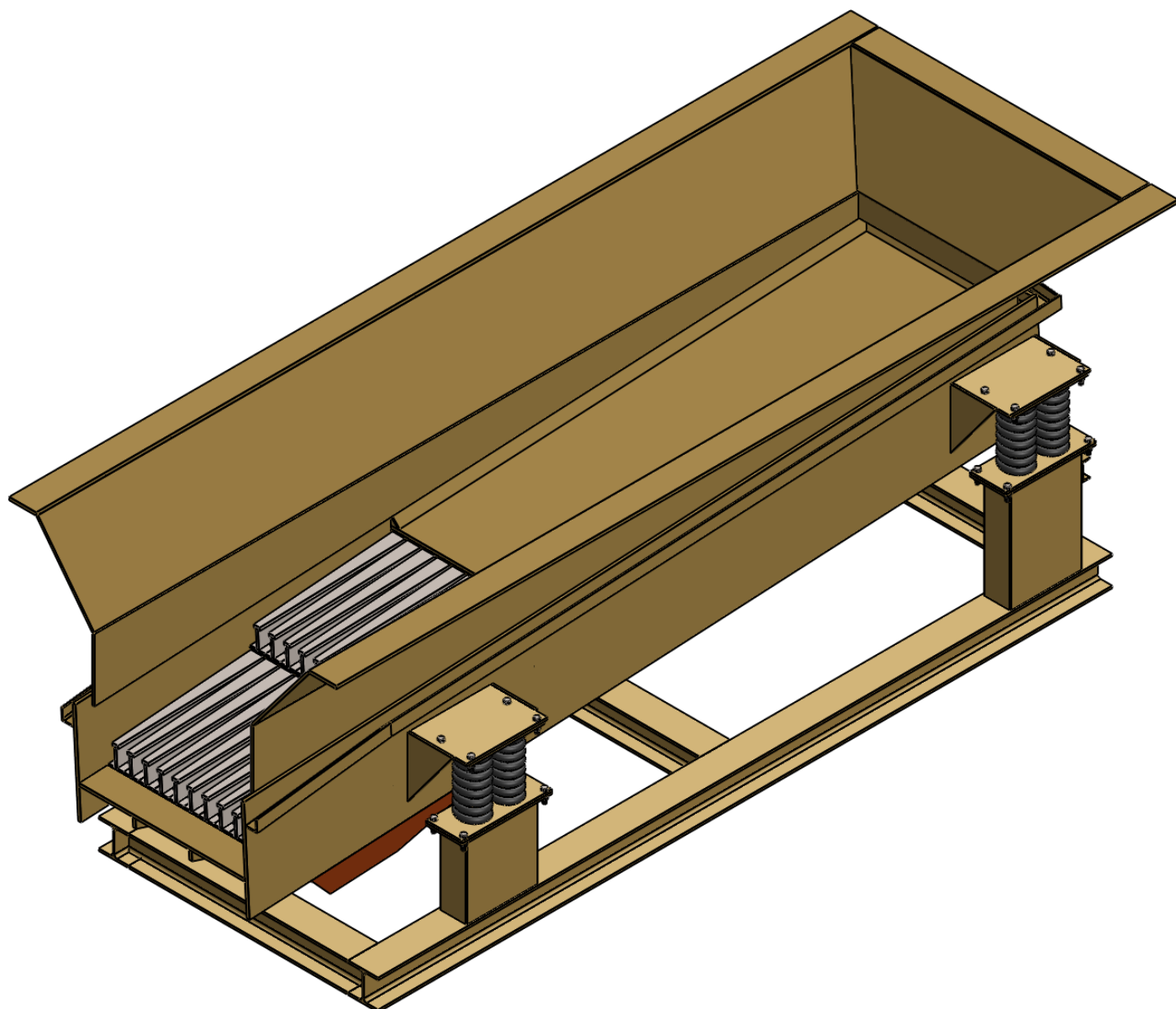
Hoja N° 346

A4

Plano N° 139



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos				
Tolva				José Francisco Carpena Ortega - UPCT
				Escala 1:70
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena	 Hoja N° 347
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3 Plano N° 140



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Alimentador 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

Escala 1:30

Dibujado

J.F.C.O.

01/09/2014



Universidad
Politécnica
de Cartagena



Hoja N° 348

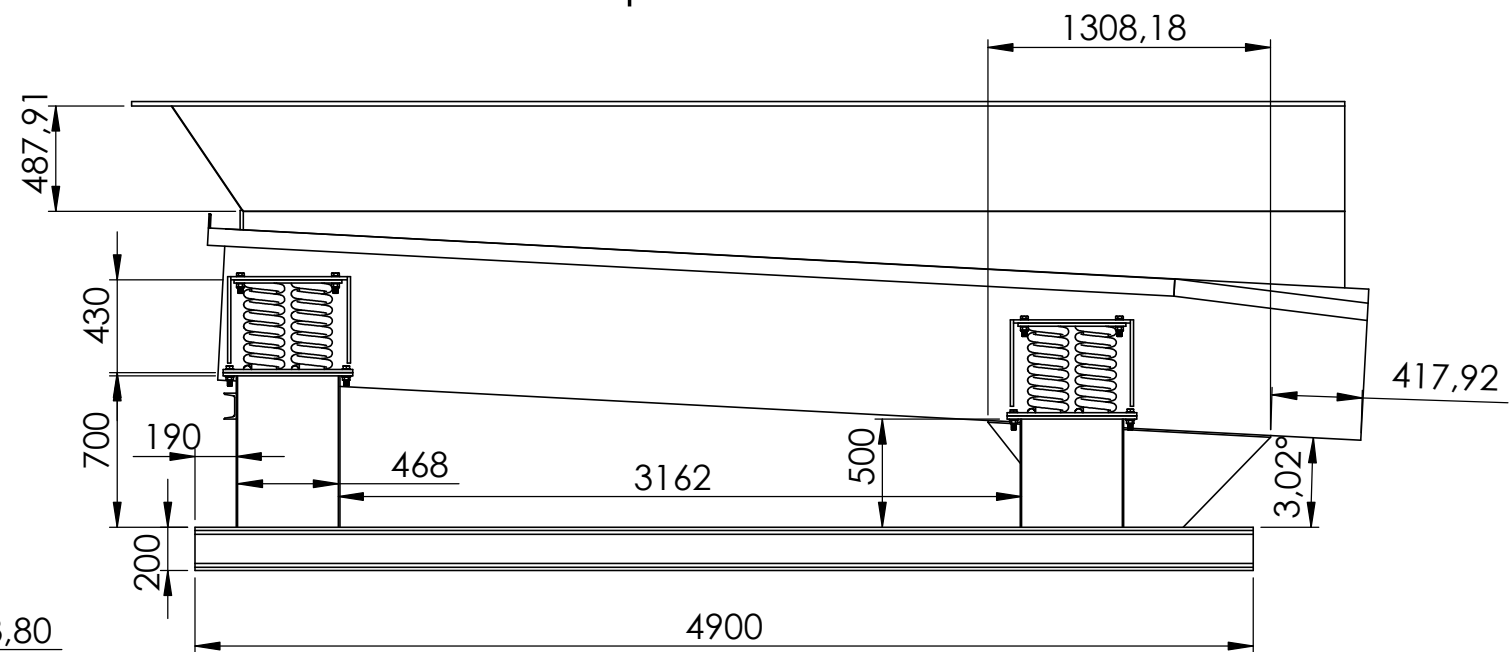
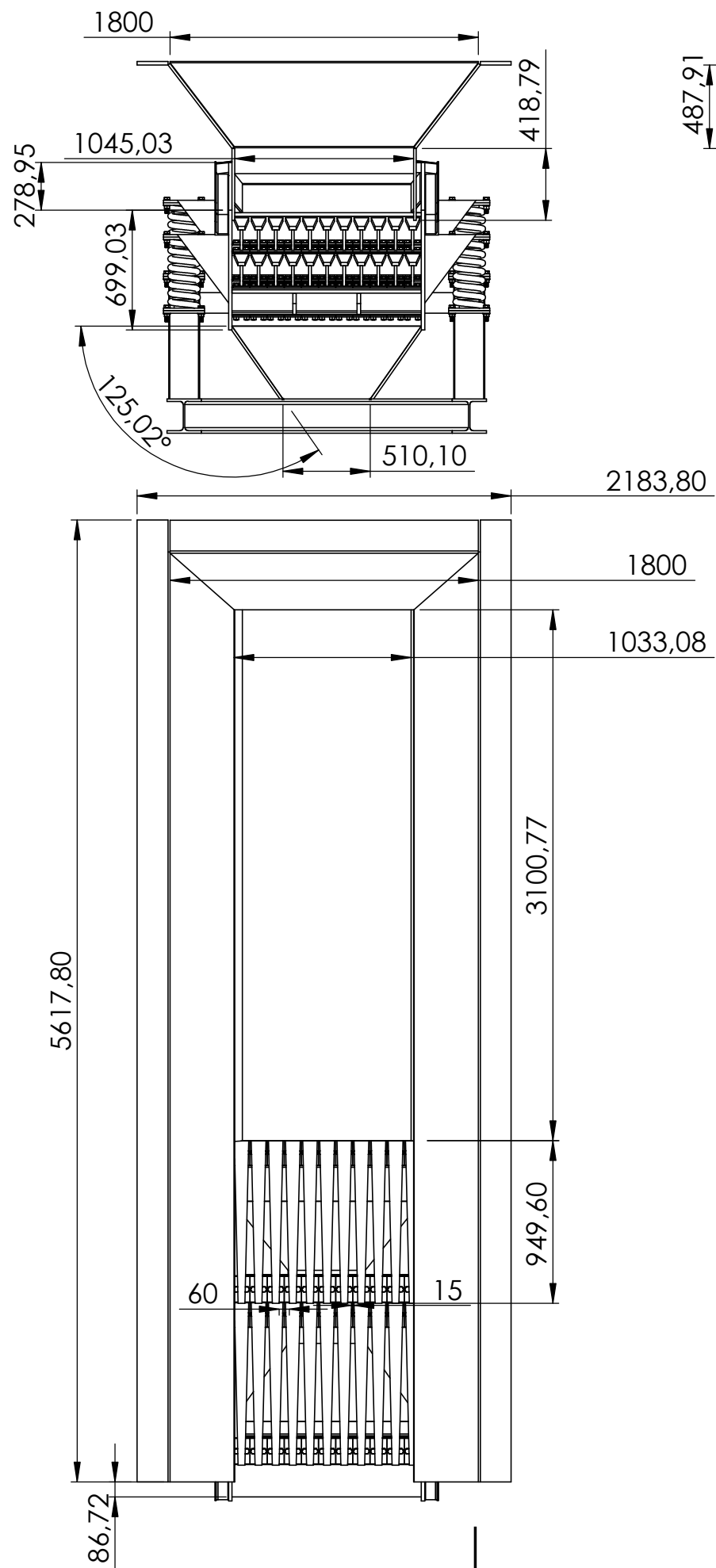
Comprobado

J.F.C.O.

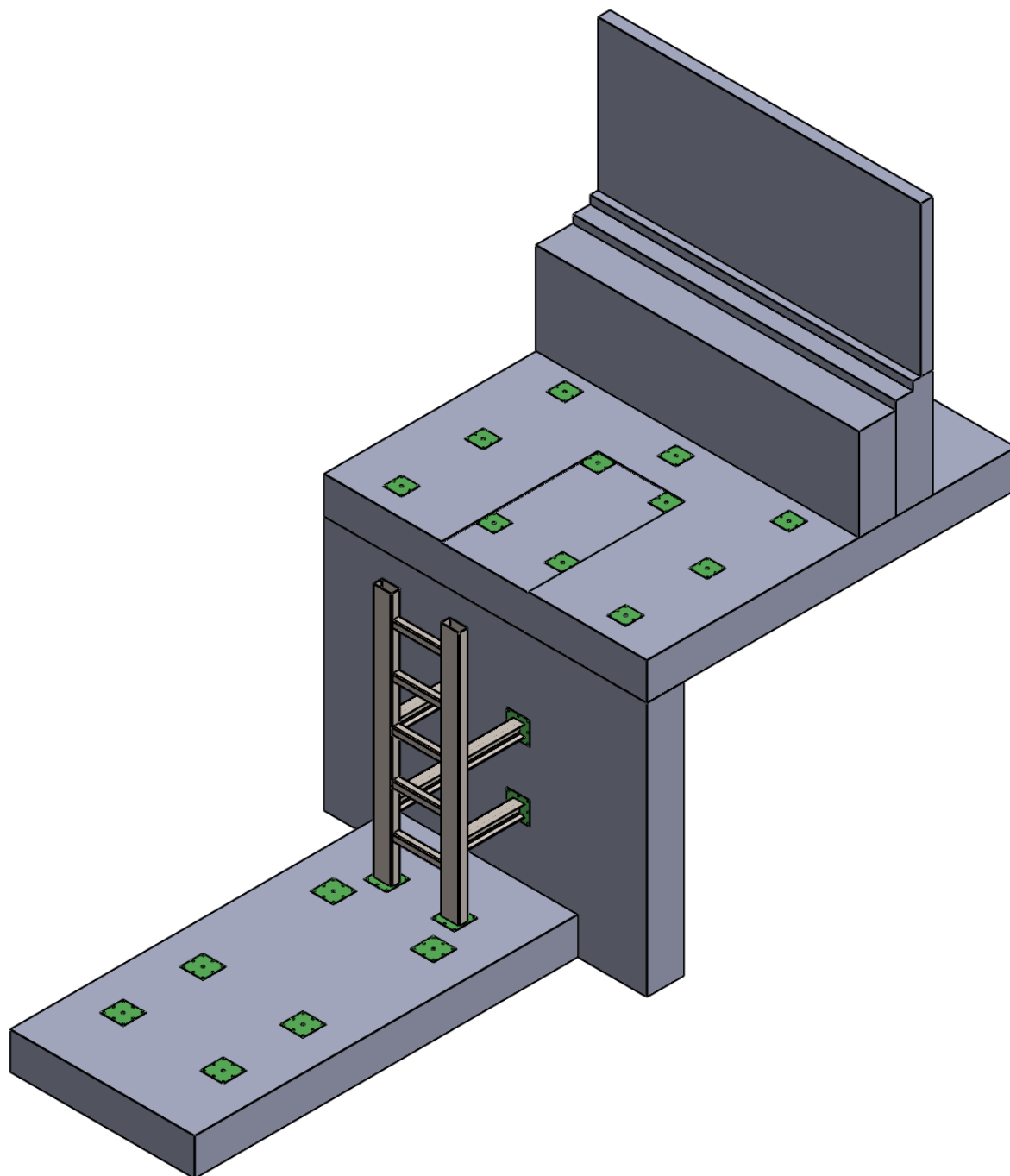
01/09/2014

A4

Plano N° 141



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos				
Alimentador			José Francisco Carpena Ortega - UPCT	
			Escala	1:35
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena	  Hoja N° 349
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3 Plano N° 142



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Cimentación 3D

José Francisco Carpena
Ortega - UPCT

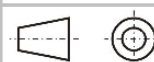
Escala 1:100

Dibujado J.F.C.O. 01/09/2014

Comprobado J.F.C.O. 01/09/2014



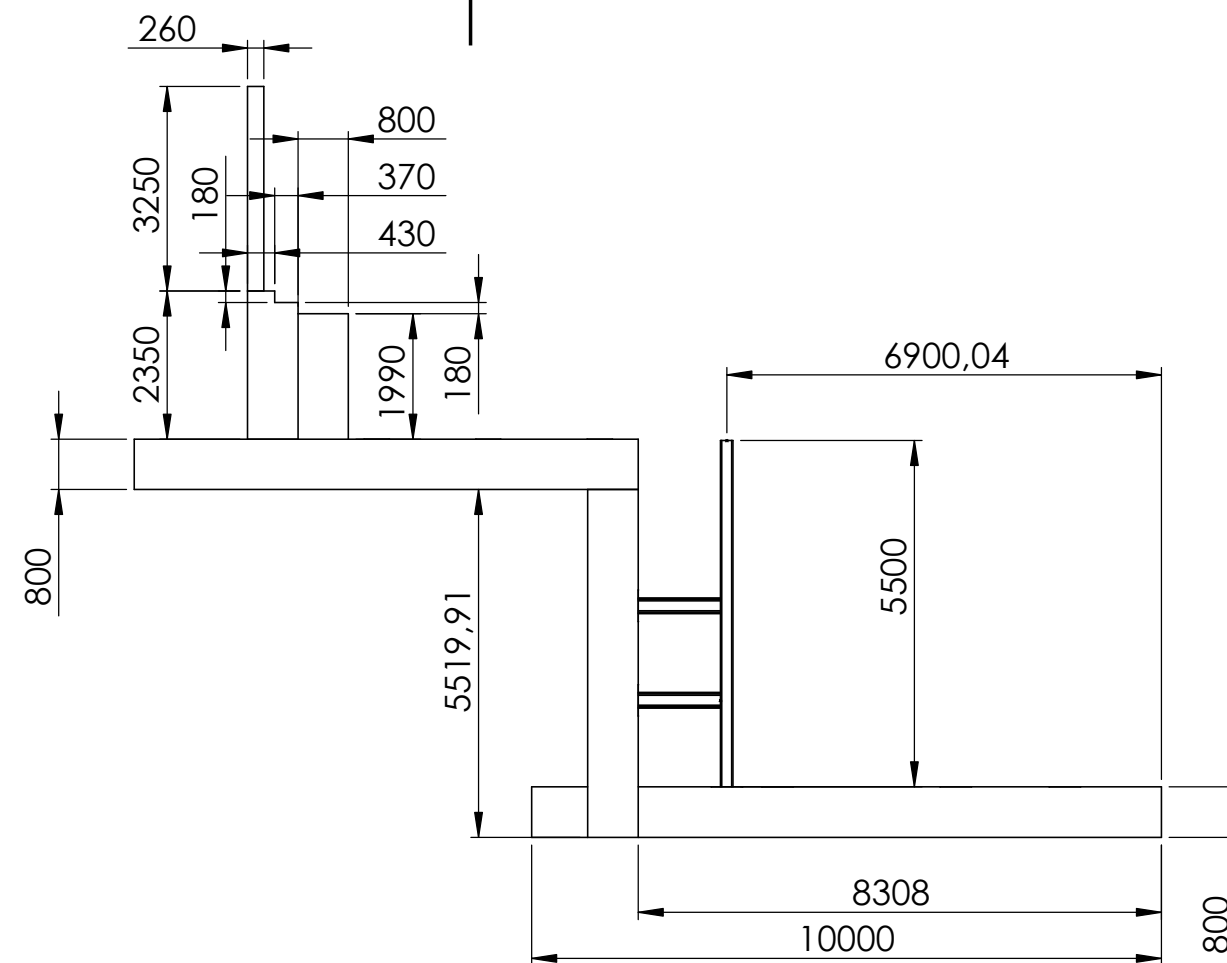
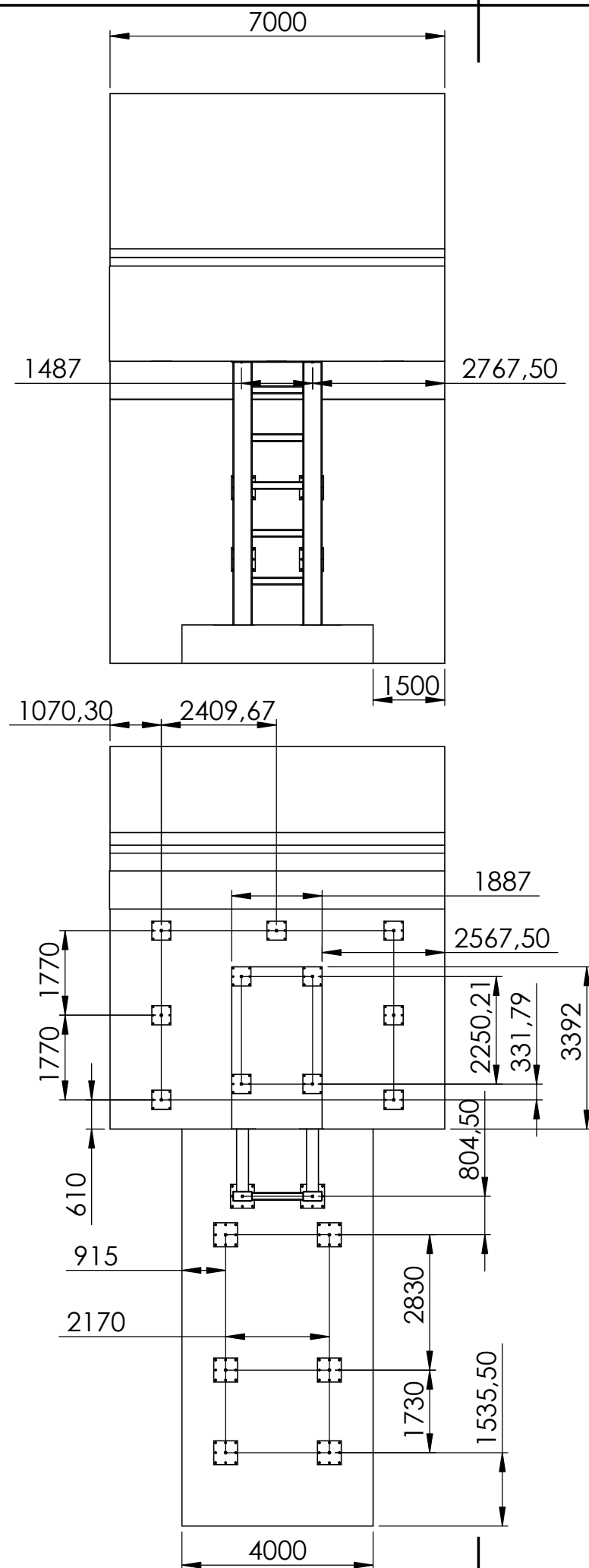
Universidad
Politécnica
de Cartagena





Hoja N° 350

A4

Plano N° 143



Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

Cimentación				José Francisco Carpena Ortega - UPCT	
				Escala 1:120	
Dibujado	J.F.C.O.	01/09/2014	 Universidad Politécnica de Cartagena		Hoja Nº 351
Comprobado	J.F.C.O.	01/09/2014		A3	Plano Nº 144

Aspectos Técnicos y de Diseño para la Selección y Dimensionado de las Machacadoras de Mandíbulas en la Trituración de Áridos

José Francisco Carpena Ortega - UPCT

BIBLIOGRAFÍA

- López Gimeno, C. (1998). Manual de áridos. Barcelona: Técnicos asociados.
- Durán López, A. (2006). Selección práctica y aplicaciones de los equipos de trituración. Madrid: Fueyo editores.
- Ramsay, J.G. (1977). Plegamiento y fracturación de las rocas. Madrid: Blume.
- Fueyo Casado, L. (1999). Equipos de trituración, molienda y clasificación. Madrid: Rocas y minerales.
- Lara Leal, J.F. (2009). Manual práctico de mantenimiento de plantas de áridos. Madrid: Fueyo editores.
- Apuntes de la asignatura “tecnología mineralúrgica”. (2013-2014). Grado en ingeniería de recursos minerales y energía. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Apuntes de la asignatura “oficina técnica”. (2011-2012). Ingeniería técnica industrial. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Félez, J. (1995). Dibujo industrial. Madrid: Síntesis.
- SolidWorks Corporation. (2001). SolidWorks 2001 Plus. Empezar a trabajar. Concord, Massachusetts, EE.UU. Dasty.